

**RAPPORT DE MISSION DANS LA ZONE DE VENUSTIANO CARRANZA  
ETAT DE JALISCO – MEXICO  
DU 17 AU 25 SEPTEMBRE 1990**

**CONTRIBUTION A LA CARACTERISATION DU RISQUE  
AGROPEDOCLIMATIQUE POUR LA CULTURE PLUVIALE  
DU MAIS EN REGION D'ALTITUDE**

**F. FOREST Agroclimatologiste  
Programme Climat–Plante–Production  
IRAT/DRN**

Contribution à la caractérisation du risque  
agropédoclimatique pour la culture pluviale du maïs  
en région d'altitude

Rapport de mission dans la zone de Venustiano Carranza ,Etat  
de Jalisco,Mexico, 17-25 sept 1990

F.FOREST ,agroclimatologiste.  
Programme Climat-plante-production  
IRAT-DRN

## I/ Antécédents:

La mission s'inscrit dans la programmation du travail de thèse qu'Eric Scopel a engagé ,en 1990, dans le cadre d'une collaboration IRAT-CIMMYT .Ce projet de Doctorat est conduit au sein du Programme Maïs ,avec l'appui direct de Mr le Dr G.Edmeades Crop-physiologist basé à Texcoco.En France,la direction scientifique du travail est confiée au professeur M. Sébillotte.

Le travail de la thèse porte sur " l'amélioration de l'alimentation hydrique du maïs pluvial et ses relations avec le travail du sol",et plus particulièrement , sur "l'intérêt du travail de conservation en zones à pluviométrie irrégulière ".

La composante agroclimatique ,qui concerne le programme CLIPP de l'IRAT/CIRAD a par suite fait l'objet de notre plus grande attention dans la réalisation de la tournée de terrain,la collecte ,le traitement des données. Le présent rapport, à ce titre, se veut apporter les premiers éléments de connaissance , relatifs au régime des pluies,au bilan climatique et au bilan hydrique spécifique à la culture du maïs en conditions pluviales strictes.

## II/ La zone d'intervention.

### 2/1 Présentation.

L'expérimentation (Fig 1) est conduite dans une vallée située à 170 km au sud de Guadalajara ,dominée par un massif volcanique en activité.La principale ville est Venustiano Carranza. L'activité principale est la maïsiculture pluviale (30 000 ha);l'élevage (patûrage et sorgho fourrager) et le maraichage sont en développement.

La pluviosité annuelle sur la zone (Fig 2 ) varie entre 500 et 1500 mm ,non seulement en relation avec l'altitude mais aussi et surtout en fonction de l'exposition par rapport aux vents dominants. Les sites expérimentaux ( Fig 3) sont disposés le long d'un piémont volcanique.

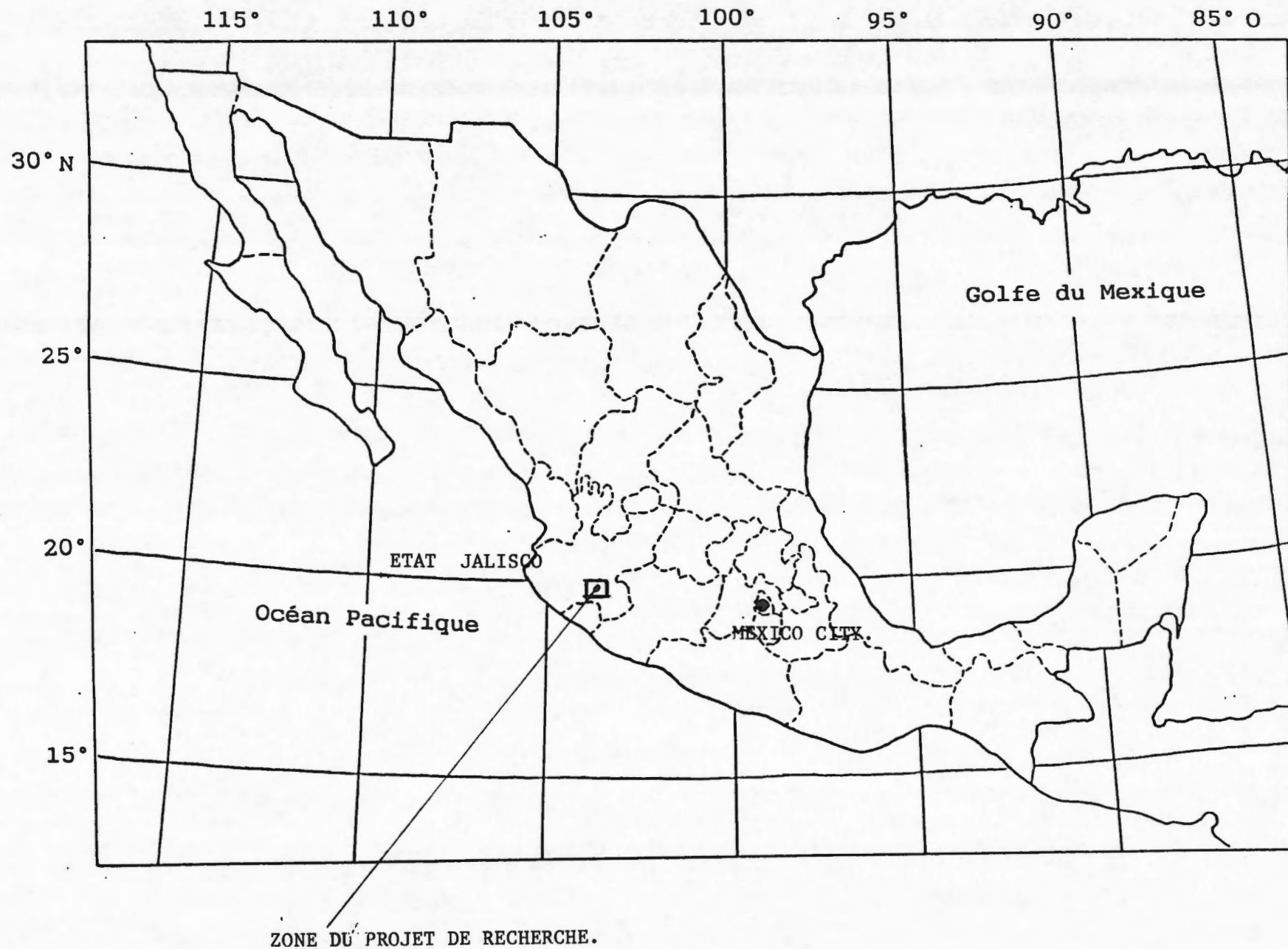
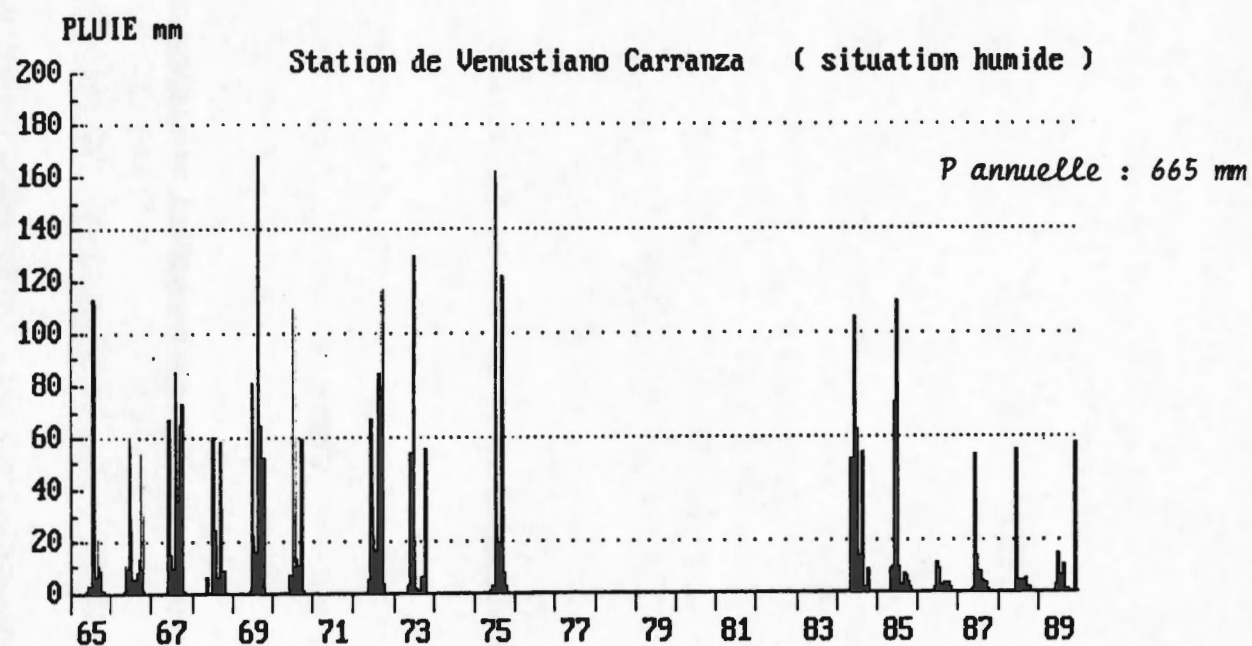
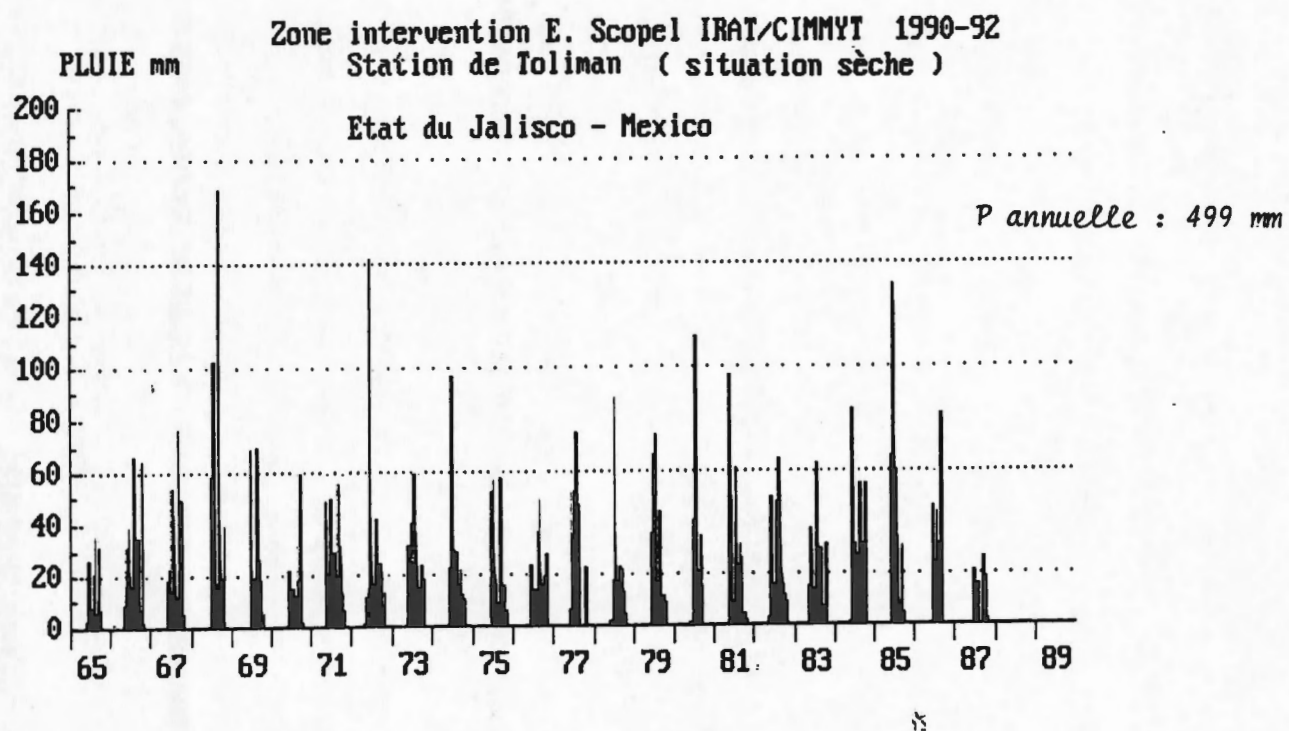
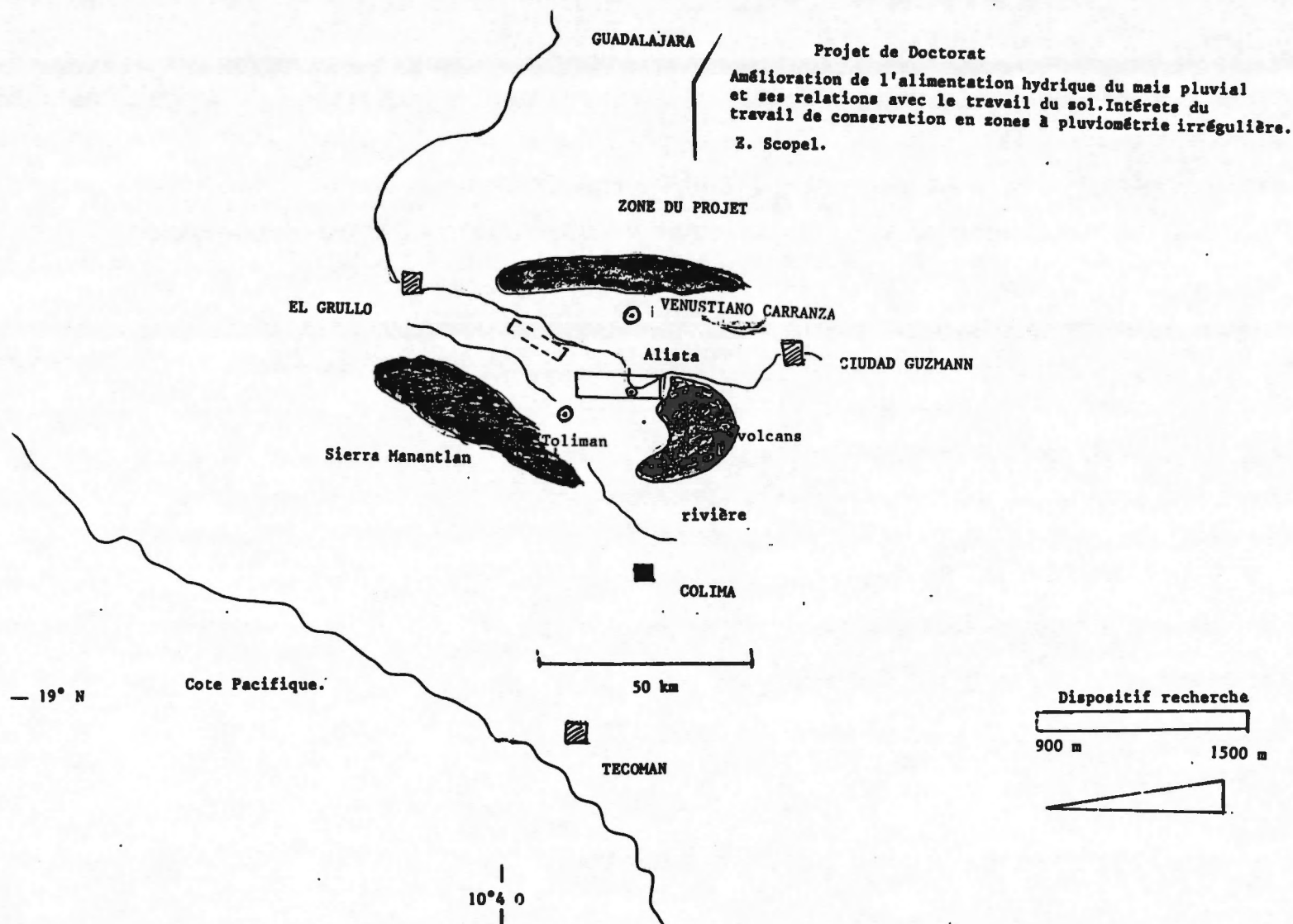


Figure 1

FIGURE 2







PRESENTATION DE LA ZONE D'INTERVENTION : Piémont volcanique.

FIGURE 3

Sur la série chronologique complète de Toliman (Fig 2), on constate que la distribution interannuelle des pluies décennales est relativement stable avec une oscillation comportant des maxima en 1968, 80 et des minima autour des années 76 et 87, soit un pas de 11, 12 ans correspondant au cycle de l'activité solaire. Cette description basée sur l'analyse graphique serait à approfondir avec d'autres outils et des séries de données homogènes (cf travail de thèse de Mr H Martinez).

## 2/2 Les sols.

Le dispositif concerne les deux principaux sols caractéristiques du secteur:

- Les sols noirs, ou vertisols riches en argile, à tendance alcaline, risque d'engorgement...
- Les sols bruns, plus acides, légers aux caractéristiques hydro-pédologiques moins complexes: absence de battance et infiltration élevée.

Ces deux types de sols se retrouvent aussi bien dans les strates basses et hautes du transect étudié, ils sont par suite pris en compte dans la conception du protocole de suivi-expérimentation.

Un volet important du travail d'E Scopel est consacré à la caractérisation des états du milieu à travers notamment la réalisation d'un référentiel "Profil cultural" selon la méthodologie proposée par H. Manichon et al. (cf fiche type)

Dans de nombreuses situations, les sols bruns sont déposés sur un sous horizon de type sol noir en conformité avec les processus de morpho-pédogenèse propres à ces zones. Une analyse morphopédologique de la zone est en cours d'élaboration avec l'appui d'A. Angé.

Au cours de la campagne 1990, il aurait été observé des symptômes de carence en zinc en début de cycle sur les deux sols ainsi que des carences en fer sur les pédons à base calcaire. Cet aspect est pris en charge par les spécialistes du CIMMYT dans le cadre du programme mais.

## III/ Le dispositif d'intervention

### 3/1 Le suivi paysanal.

Il comprend un volet "suivi" d'environ 40 parcelles paysanales destiné à alimenter une base d'information milieu-composantes du rendement-pratiques culturales. Cette action initiée dès 1989 au cours de la phase de reconnaissance a été engagée en 1990 pour devenir effective et opérationnelle en 1991 après une année de formation des observateurs.

### 3/2 Le dispositif expérimental.

Il comprend 4 essais Split-Plot ,répartis sur les parties basses (arides) et hautes (humides).Implantés sur les deux types de sol,cés essais sont systématiquement doublés dans un souci de sécurisation.Toutefois, les observations lourdes ne sont réalisées que sur le dispositif principal.

La variété de maïs locale semée "yellow OP" sera conservée pour les campagnes 90 et 91.

### 3/3 Les traitements agronomiques.

Chaque essai est constitué par un dispositif de type Split-plot après avis des chercheurs du CIMMYT et selon les recommandations du Professeur Sebillotte:

Facteur 1	Sous-solage	à 40 cm	absence
Facteur 2	Préparation superficielle		
	T1 Conservation :pas de travail et apport résidus (mulch de tiges de sorgho)		
	T2 Disque à 7-10 cm :Cover-crop+sarclo-buttage mécanique		
	T3 Disque à 7-10 cm : Cover-crop + desherbage chimique		
	T4 Labour à 15-20 cm :Charrue à disque + reprise au Cover-crop + sarclo-buttage		

Le traitement T4 correspond aux pratiques conventionnelles généralisées dans la zone (location ou régie)

Le traitement T1 répond à la demande ,en particulier de vastes projets de développement en cours de démarrage quise lancent dans des actions " d'agriculture soutenue" avec des financements élevés...

### 3/4 Les observations et mesures.

\* Les termes du bilan hydrique :relations eau-sol.

- La pluviométrie est observée si possible sur le site.Toutefois en raison de problèmes d'accès,le pluviomètre de référence est parfois relativement éloigné.Il conviendra de remédier à cet inconvénient en 1991 .
- L'humidité dans le sol est suivie à l'aide d'un sonde fournie par le CIMMYT.Les tubes mis en place pour chaque traitement sont limités à la profondeur de 1 mètre ,ce qui induit le risque (évalué dans la suite du rapport) de ne pas être en mesure de "boucler" les calculs de bilan si les pluies sont trop importantes.

- L'humidité de surface (1-20 cm) est contrôlée par la méthode gravimétrique grâce à la mise à disposition d'une étuve localisée au domicile d'E.Scopel ( 1 heure de route).

- La perméabilité, la vitesse d'infiltration sont estimées par la méthode des doubles anneaux. Quelques mesures ont été réalisées en 1990, 40 jours après le semis. Elles seront complétées en 1991.

\* Les relations sols - racines.

- Le suivi par pénétrométrie du semis à la récolte a été mis en oeuvre. La densité apparente par la technique de prélèvement par cylindre est mesurée au moment de la floraison pour les tranches 10, 20, 30, 50 et 90 cm.

- L'évolution des aspects structuraux est étudiée entre les périodes "avant semis" et floraison par réalisation de profils culturaux systématisés pour tous les traitements. Le dépouillement en cours mériterait une séance d'analyse et de réflexion à Montpellier (ou à Paris) lors du prochain passage d'E.S en France.

\* La Plante : les indicateurs biologiques.

- Estimation de la production de matière sèche par mesure des hauteurs et diamètres de tige à jours après le semis et au moment de la floraison.

- Potentiel hydrique et conductance stomatique à l'aide de matériels aimablement fournis par le CIMMYT. Concernant le suivi stomatique, E.S est entré en relation avec Mrs Tardieu et Katerji de l'Inra qui publient des résultats forts prometteurs pour les physiologistes et sélectionneurs concernés par la résistance à la sécheresse. On notera que le Dr J.Bolanos, du CIMMYT, propose une démarche fort originale sur cette problématique (cf doc).

- Mesure de l'intervalle " anthesis - silking" en tant qu'indicateur de stress hydrique au moment de la phase sensible. On notera la convergence avec l'approche agroclimatologique Irat/Cirad qui s'intéresse à l'indicateur ETR/ETM au cours de la période critique (conjonction de la phase sensible et de la période de stress maximum).

- Caractérisation de la colonisation racinaire à la floraison par estimation pondérale et comptage des présences à l'aide d'une grille de 2 cm de maille.

\* Composantes et rendement à la récolte.

#### IV Caractérisation de la ressource pluviométrique.

On dispose de deux séries pluviométriques, malheureusement non homogènes, à partir desquelles il nous est toutefois possible de caractériser grossièrement les potentialités et risques en rapport avec la maïsiculture. Dans une première étape, la station de



référence pour la partie haute est Venustiano Carranza (Fig 4) petite bourgade située au vent d'un massif montagneux. Pour la partie basse, la station choisie (Fig 5) est Toliman.

#### 4/1 Analyse comparative de la pluviosité.

Les deux sites sont caractérisés par une pluie moyenne de même ordre de grandeur (9,14 et 9,94 mm) correspondant respectivement à 55 jours à Toliman et 68 jours de pluie à Venustiano entre le 1/06 et le 31/10.

Ces treize jours de différence ne sont pas sans effets sur le niveau de risque encouru par la plante même si la distribution des périodes humides et sèches est relativement semblable (Fig 4 et 5). Les épisodes de 3 à 5 jours secs consécutifs sont toutefois plus fréquents à Toliman, ce qui traduit bien une tendance à l'aridité pour les zones basses de la zone.

L'analyse fréquentielle sommaire des séries disponibles montre par contre, une distribution très différente des pluies décennales entre les deux sites situés à moins de 20 km l'un de l'autre.

La distribution est de type bimodale dans la zone humide (Fig 6) avec un maxima fin juillet et fin septembre. Un risque de sécheresse "relative" semble caractériser la période s'échelonnant du 15/07 au 5/08. Sa précocité d'apparition est liée au niveau de probabilité et à la quantité de précipitations espérées.

Dans la zone sèche (Fig 7), la distribution est asymétrique, monomodale avec un maximum entre le 25/06 (en année humide) et le 5/07 (année médiane). En année sèche (probabilité 8/10), le maximum est estompé. Cette situation est directement liée au mécanisme d'entrée des pluies de mousson qui détermine le climat régional en relation avec les phénomènes (de taille synoptique) qui régissent la météorologie des masses d'air depuis le golfe des Caraïbes jusqu'à la côte Pacifique. La saison démarre d'autant plus tôt que le front de mousson en provenance du Sud est actif.

Sur le plan de la quantité des pluies saisonnières espérées (Fig 8 et 9) la valeur médiane varie de 515 à 710 mm pour les stations de Toliman et Venustiano. Cet écart médian de 200 mm justifie en partie le choix de ces sites pour caractériser le gradient pluviométrique.

La présence du risque de sécheresse au cœur de la saison justifie tout à fait le projet de thèse d'E.S qui se veut contribuer à proposer des innovations susceptibles de mieux valoriser l'utilisation de cette ressource par le Maïs. La forte variabilité spatiale de la pluviosité implique toutefois que celle-ci soit précisément suivie sur chacun des 8 sites d'observation.

#### 4/2 La pluviométrie utile pour la culture du maïs.

Il a été précisé qu'une grande partie des sols cultivés étaient de type vertisol ayant une forte propension à la battance et au ruissellement. L'analyse de sensibilité de la pluie utile (logiciel SARRA) en fonction de l'état de surface (méthodologie proposée par

ANNEE	JOURS	MAXIMUM	MOYENNE	TOTAL
* 1965 *	83	45.00	8.30	688.80
* 1966 *	74	56.50	8.39	620.50
* 1967 *	79	60.50	10.03	792.50
* 1968 *	63	60.00	10.62	669.00
* 1969 *	74	95.50	9.21	681.50
* 1970 *	64	62.50	11.14	713.00
* 1972 *	63	40.50	8.08	509.30
* 1973 *	67	70.00	12.48	836.00
* 1975 *	90	27.00	5.74	516.90
* 1984 *	77	55.00	8.14	626.50
* 1985 *	71	62.00	11.80	838.10
* 1986 *	52	55.00	13.55	704.40
* 1987 *	61	88.50	12.06	735.50
* 1988 *	55	70.50	10.57	581.50
* 1989 *	52	54.00	9.01	468.40
* PERIODE*	68.3	95.50	9.94	665.46

NOMBRE DE JOURS DE PLUIE SUCCESSIFS OBSERVES

\*\*\*\*\*

DUREE	1J	2J	3J	4J	5J	6J	7J	8J	9J	10J
* 1965 *	10.*	9.*	3.*	2.*	1.*	1.*	0.*	1.*	1.*	1.
* 1966 *	15.*	10.*	2.*	4.*	2.*	0.*	1.*	0.*	0.*	0.
* 1967 *	5.*	9.*	6.*	2.*	2.*	2.*	0.*	1.*	0.*	0.
* 1968 *	17.*	6.*	3.*	1.*	0.*	1.*	1.*	1.*	0.*	0.
* 1969 *	10.*	8.*	7.*	1.*	0.*	1.*	0.*	1.*	1.*	0.
* 1970 *	15.*	5.*	4.*	1.*	2.*	1.*	1.*	0.*	0.*	0.
* 1972 *	18.*	4.*	3.*	1.*	2.*	0.*	2.*	0.*	0.*	0.
* 1973 *	18.*	5.*	7.*	1.*	1.*	0.*	0.*	0.*	1.*	0.
* 1975 *	9.*	3.*	1.*	1.*	1.*	0.*	0.*	1.*	0.*	0.
* 1984 *	16.*	2.*	4.*	0.*	1.*	1.*	2.*	1.*	0.*	0.
* 1985 *	12.*	5.*	3.*	4.*	1.*	2.*	1.*	0.*	0.*	0.
* 1986 *	18.*	8.*	3.*	1.*	1.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1987 *	16.*	4.*	4.*	2.*	2.*	0.*	1.*	0.*	0.*	0.
* 1988 *	11.*	6.*	2.*	2.*	2.*	0.*	0.*	1.*	0.*	0.
* 1989 *	13.*	9.*	4.*	1.*	1.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
PERIODE	*13.5*	6.2*	3.7*	1.6*	1.3*	.6*	.6*	.5*	.2*	.1

NOMBRE DE JOURS SUCCESSIFS SANS PLUIE OBSERVES

\*\*\*\*\*

DUREE	1_2J	3_5J	_10J	_15J	_20J	_25J	_30J	_35J	_40J	_45J	+45J
* 1965 *	25.*	2.*	1.*	2.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1966 *	25.*	7.*	2.*	1.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1967 *	21.*	5.*	0.*	2.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1968 *	17.*	12.*	1.*	1.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1969 *	17.*	10.*	1.*	1.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1970 *	21.*	5.*	3.*	0.*	1.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1972 *	21.*	4.*	6.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1973 *	17.*	13.*	3.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1975 *	13.*	4.*	2.*	1.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1984 *	17.*	10.*	2.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1985 *	16.*	9.*	4.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1986 *	16.*	11.*	5.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1987 *	19.*	8.*	1.*	2.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1988 *	14.*	4.*	5.*	2.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1989 *	17.*	6.*	4.*	2.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
PERIODE	*18.4*	7.3*	2.7*	.9*	.1*	.0*	.0*	.0*	.0*	.0*	.0



ANNEE	JOURS	MAXIMUM	MOYENNE	TOTAL
* 1965 *	61	49.00	6.19	377.50
* 1966 *	53	66.50	9.34	495.00
* 1967 *	57	47.00	9.04	515.00
* 1968 *	52	73.50	11.78	612.40
* 1969 *	55	66.50	9.38	516.10
* 1970 *	63	116.00	9.20	579.50
* 1971 *	50	54.50	11.34	567.20
* 1972 *	61	78.00	10.66	650.50
* 1973 *	64	120.50	10.19	652.00
* 1974 *	59	40.00	7.93	467.70
* 1975 *	52	30.50	6.75	351.20
* 1976 *	61	50.00	7.57	462.00
* 1977 *	51	38.50	8.99	458.50
* 1978 *	72	60.00	6.23	448.50
* 1979 *	61	34.50	7.14	435.50
* 1980 *	37	47.50	10.50	388.50
* 1981 *	59	73.00	9.93	586.00
* 1982 *	63	69.50	9.22	580.60
* 1983 *	60	48.00	7.73	464.00
* 1984 *	52	39.00	11.18	581.60
* 1985 *	43	93.50	12.83	551.50
* 1986 *	46	36.50	9.82	451.50
* 1987 *	38	27.00	7.29	277.10
* PERIODE*	55.2	120.50	9.14	498.67

NOMBRE DE JOURS DE PLUIE SUCCESSIFS OBSERVES

\*\*\*\*\*

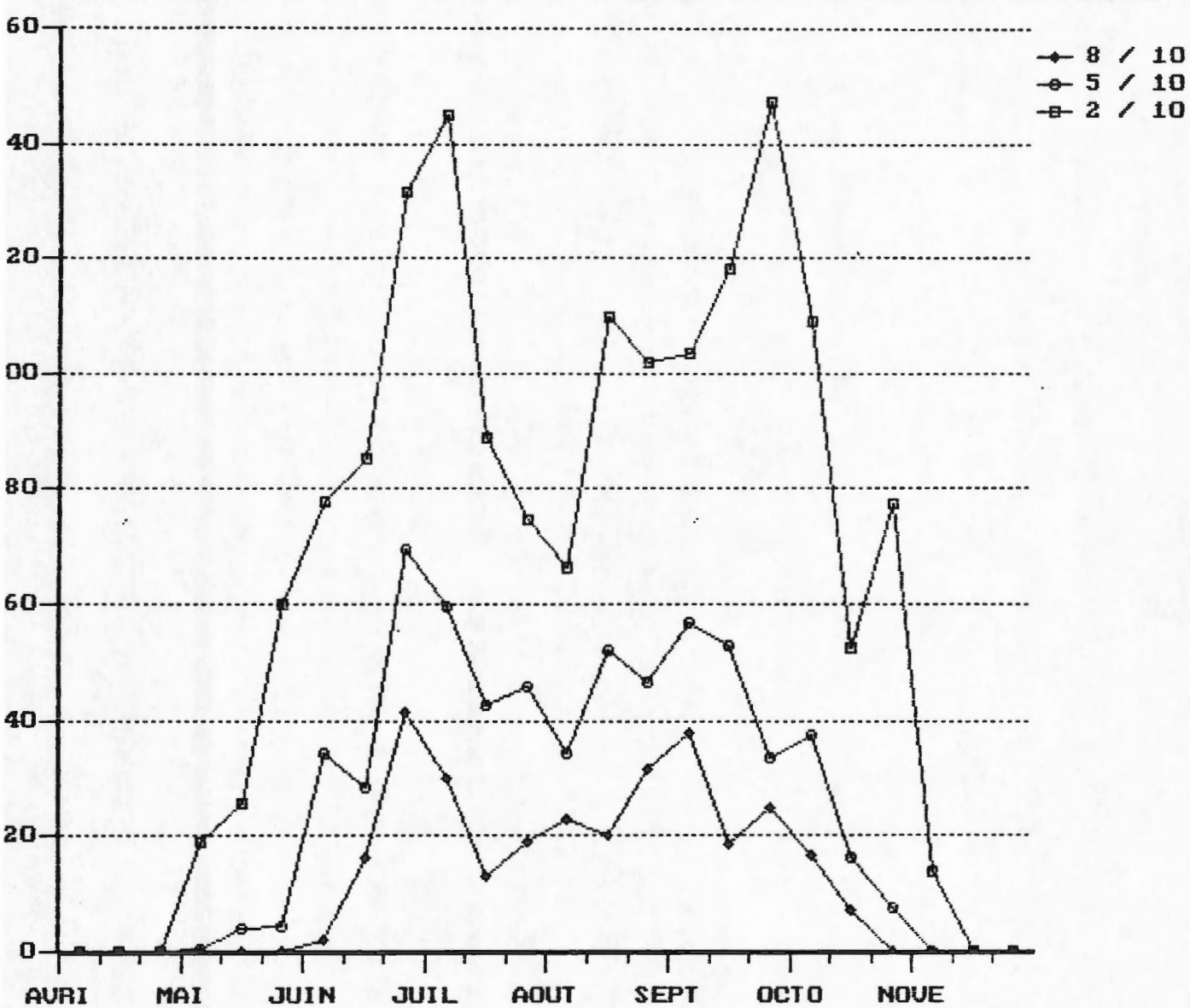
DUREE	1J	2J	3J	4J	5J	6J	7J	8J	9J	10J
* 1965 *	7.*	3.*	4.*	6.*	1.*	0.*	1.*	0.*	0.*	0.
* 1966 *	15.*	10.*	6.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1967 *	17.*	5.*	2.*	2.*	2.*	1.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1968 *	19.*	4.*	1.*	1.*	1.*	1.*	1.*	0.*	0.*	0.
* 1969 *	14.*	7.*	5.*	0.*	1.*	0.*	1.*	0.*	0.*	0.
* 1970 *	16.*	7.*	4.*	0.*	3.*	1.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1971 *	15.*	9.*	1.*	2.*	0.*	1.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1972 *	13.*	9.*	2.*	2.*	2.*	1.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1973 *	20.*	3.*	5.*	1.*	1.*	1.*	0.*	1.*	0.*	0.
* 1974 *	15.*	8.*	4.*	1.*	1.*	0.*	1.*	0.*	0.*	0.
* 1975 *	23.*	6.*	1.*	2.*	0.*	1.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1976 *	18.*	8.*	7.*	0.*	0.*	1.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1977 *	15.*	4.*	1.*	1.*	3.*	1.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1978 *	18.*	8.*	3.*	4.*	0.*	1.*	1.*	0.*	0.*	0.
* 1979 *	12.*	3.*	5.*	2.*	4.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1980 *	11.*	6.*	3.*	0.*	1.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1981 *	19.*	6.*	5.*	2.*	1.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1982 *	19.*	4.*	5.*	1.*	1.*	2.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1983 *	20.*	5.*	4.*	2.*	2.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1984 *	19.*	6.*	3.*	3.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1985 *	15.*	4.*	4.*	2.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1986 *	10.*	4.*	2.*	2.*	0.*	1.*	0.*	1.*	0.*	0.
* 1987 *	15.*	3.*	2.*	0.*	1.*	1.*	0.*	0.*	0.*	0.
PERIODE	15.9*	5.7*	3.4*	1.6*	1.1*	.6*	.2*	.1*	.0*	.0

NOMBRE DE JOURS SUCCESSIFS SANS PLUIE OBSERVES

\*\*\*\*\*

DUREE	1_2J	3_5J	10J	15J	20J	25J	30J	35J	40J	45J	+45J
* 1965 *	13.*	6.*	2.*	0.*	1.*	1.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1966 *	18.*	9.*	4.*	1.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1967 *	15.*	10.*	4.*	1.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1968 *	11.*	13.*	4.*	1.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1969 *	13.*	13.*	1.*	1.*	1.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1970 *	20.*	10.*	0.*	2.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1971 *	14.*	9.*	4.*	2.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1972 *	15.*	10.*	4.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1973 *	22.*	7.*	2.*	2.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1974 *	15.*	13.*	2.*	1.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1975 *	21.*	7.*	6.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1976 *	23.*	10.*	1.*	1.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1977 *	18.*	5.*	1.*	0.*	1.*	0.*	0.*	1.*	0.*	0.*	0.
* 1978 *	23.*	10.*	2.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1979 *	15.*	9.*	1.*	2.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1980 *	12.*	5.*	2.*	0.*	1.*	2.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1981 *	22.*	8.*	4.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1982 *	23.*	5.*	3.*	0.*	1.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1983 *	18.*	12.*	4.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1984 *	19.*	8.*	4.*	1.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1985 *	12.*	10.*	2.*	1.*	0.*	0.*	1.*	0.*	0.*	0.*	0.
* 1986 *	11.*	5.*	2.*	2.*	0.*	0.*	0.*	0.*	1.*	0.*	0.
* 1987 *	10.*	6.*	3.*	3.*	1.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.*	0.
PERIODE	16.7*	8.7*	2.7*	.9*	.3*	.1*	.0*	.0*	.0*	.0*	.0

## Analyses fréquentielles de la pluviométrie à VENUSTIANO (MEXIQUE)



## Analyses fréquentielles de la pluviométrie à TOLIMAN

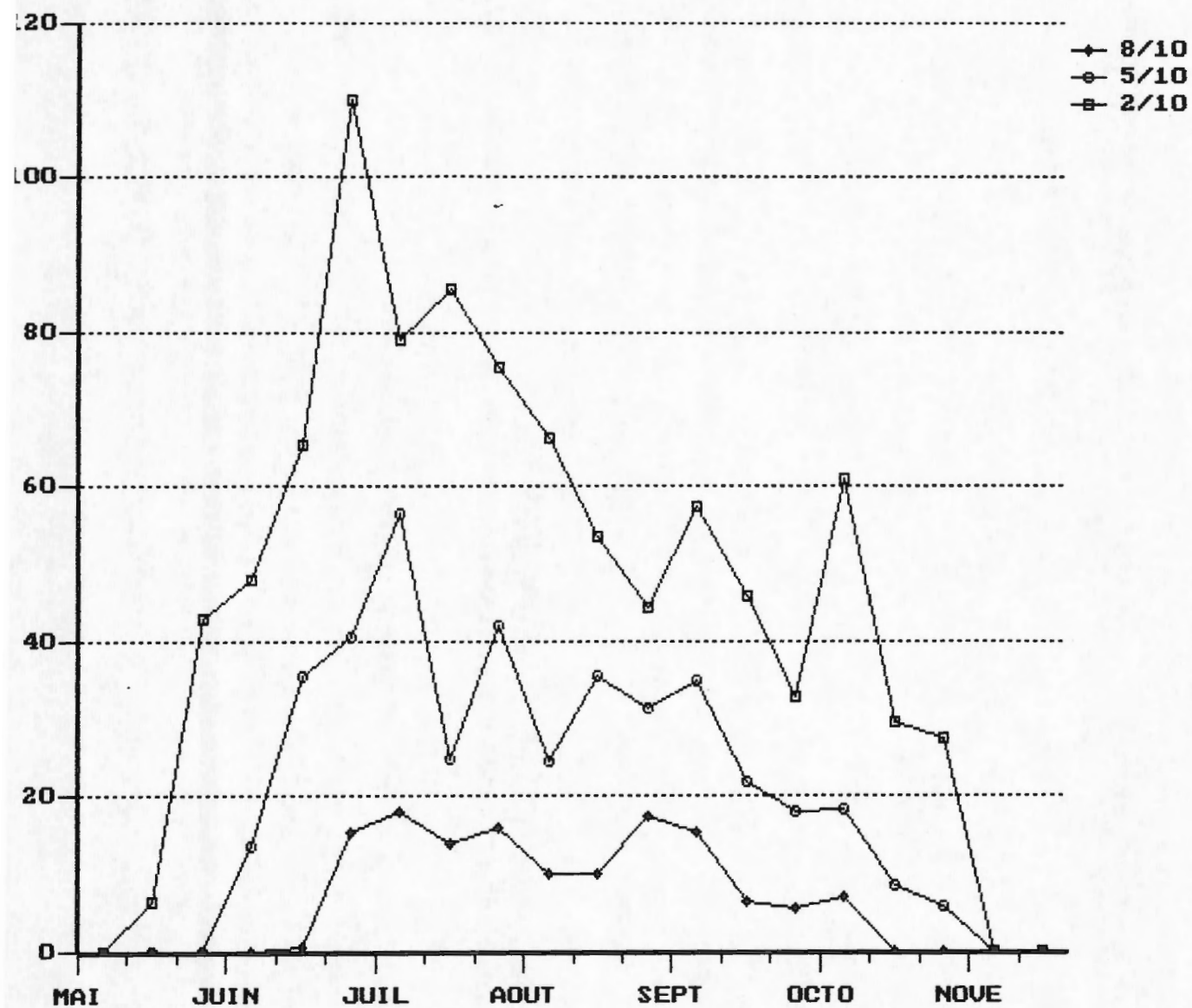
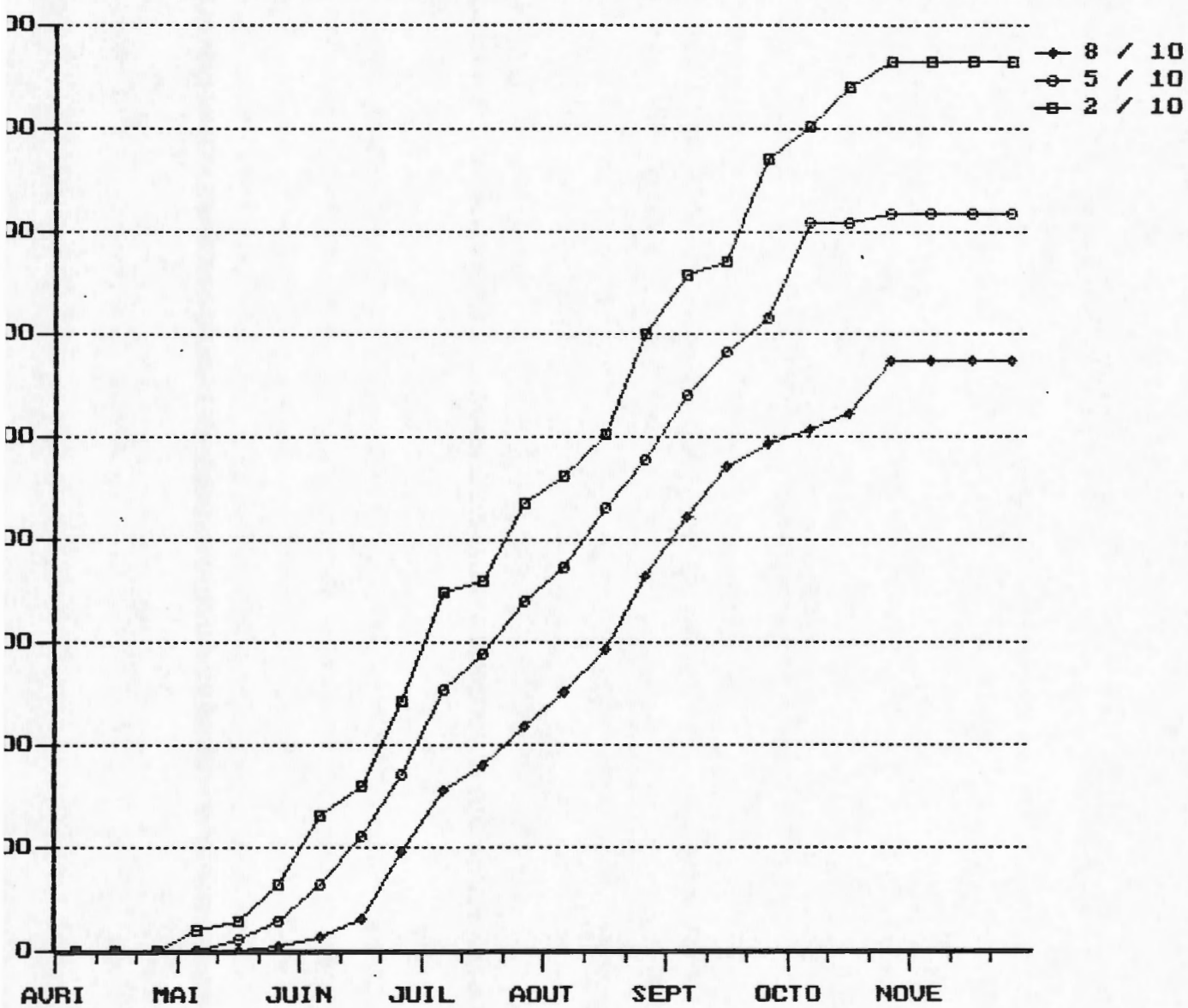
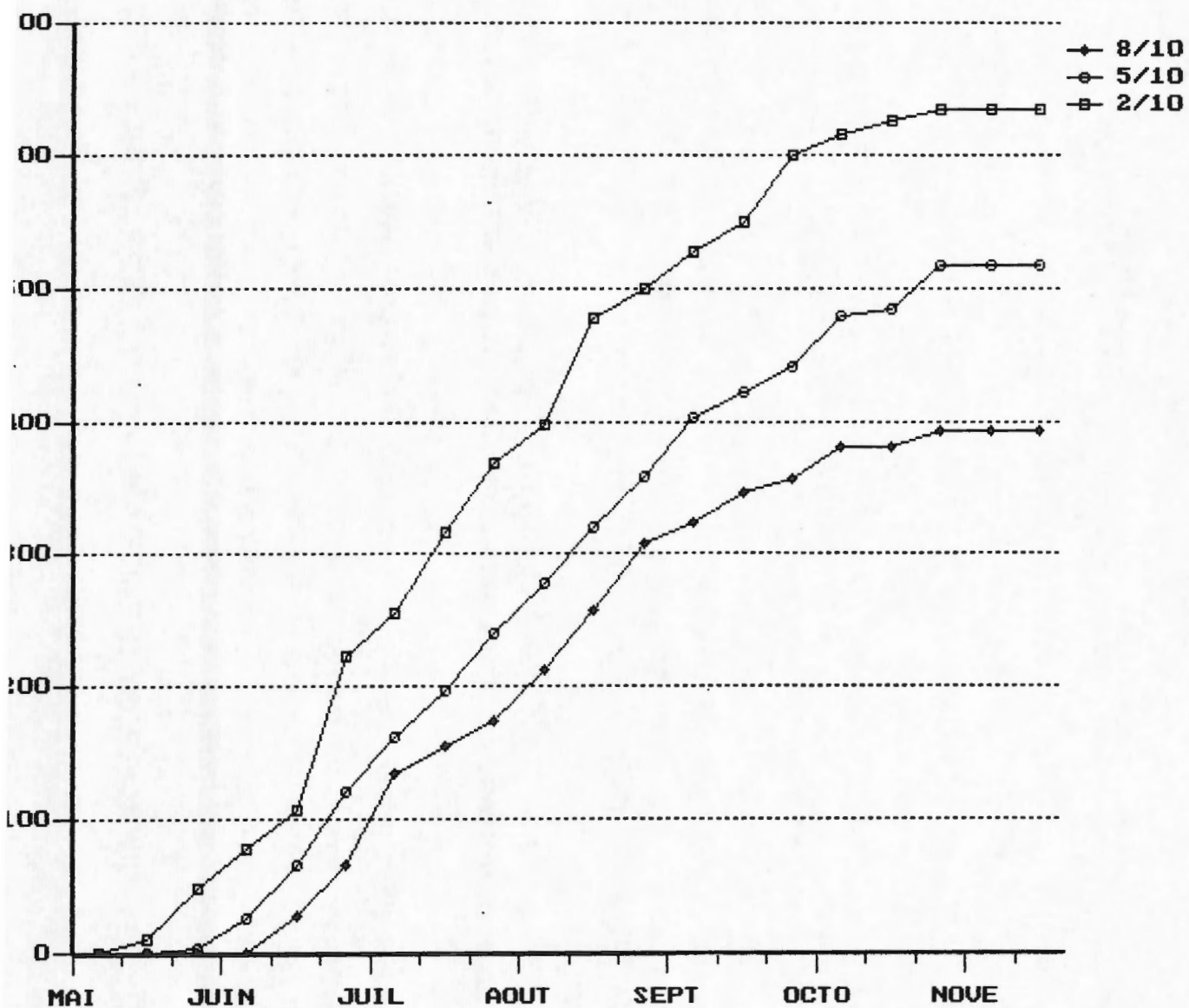


Figure 8

## Analyses fréquentielles de la pluviométrie à VENUSTIANO (MEXIQUE)



## Analyses fréquentielles de la pluviométrie à TOLIMAN





Valentin et al, Orstom ) montre bien la pertinence de la problématique abordée par E.S sur la zone de Venustiano Carranza.

La sensibilité de la pluviométrie utile à la qualité de l'état de surface est importante à Venustiano C. (fig 10) à partir du 5 juin; à Toliman (zone basse ), elle apparaît dès le mois de mai (fig 11).

Toutefois, quel que soit la qualité de l'état de surface , le risque de sécheresse est persistant début août, à Venustiano Carranza. Pour minimiser ce risque, E.S propose , à juste titre, de tester une technique de conservation qui permet de maximiser la recharge en eau du sol en début de cycle. L'efficacité de cette technologie, à démontrer, sera directement liée à la présence d'un sol suffisamment apte à conserver l'eau, et à l'obtention de profils culturaux favorables à l'extraction de cette eau par les racines au moment de cette période critique.

Le choix d'un premier facteur sous-solage se veut par suite répondre à cette nécessité de garantir un fonctionnement hydrique racinaire optimal. Il pourra cependant être discuté par d'autres spécialistes des avantages et inconvénients induits par ce traitement dont les effets complexes peuvent, en fait , être pervers.

Pour la station de Toliman, où la pluviosité est plus limitante, l'intérêt de pratiques conservatoires du sol est indiscutable, dans la mesure où la pluviométrie utile (Fig 11 ) suit un régime dégressif en totale opposition avec la dynamique de croissance et développement de la culture du maïs. Pour ces zones basses, la question est de savoir si ces techniques permettront d'envisager des pratiques intensives de la maïsiculture susceptibles de remplacer les modes de conduite actuels plutôt extensifs compte tenu du caractère "loterie" des conditions d'alimentation hydrique.

#### V Caractérisation fréquentielle du bilan hydrique et du risque de sécheresse pour une culture de maïs de 115 jours.

---

Le modèle BIP de l'Irat est proposé pour analyser les termes du bilan hydrique, et caractériser les chances de réussite de la culture. L'analyse des probabilités au dépassement des averses journalières (fig 12 ) montre que les pluies journalières sont de faible importance: 85 % d'entre elles sont inférieures à 20 mm. Cette observation permet de justifier le choix du modèle de bilan hydrique BIP4 (pas de temps de 5 jours) pour réaliser l'analyse fréquentielle des termes du bilan hydrique.

##### 5/1 Cas du système de culture conventionnel.

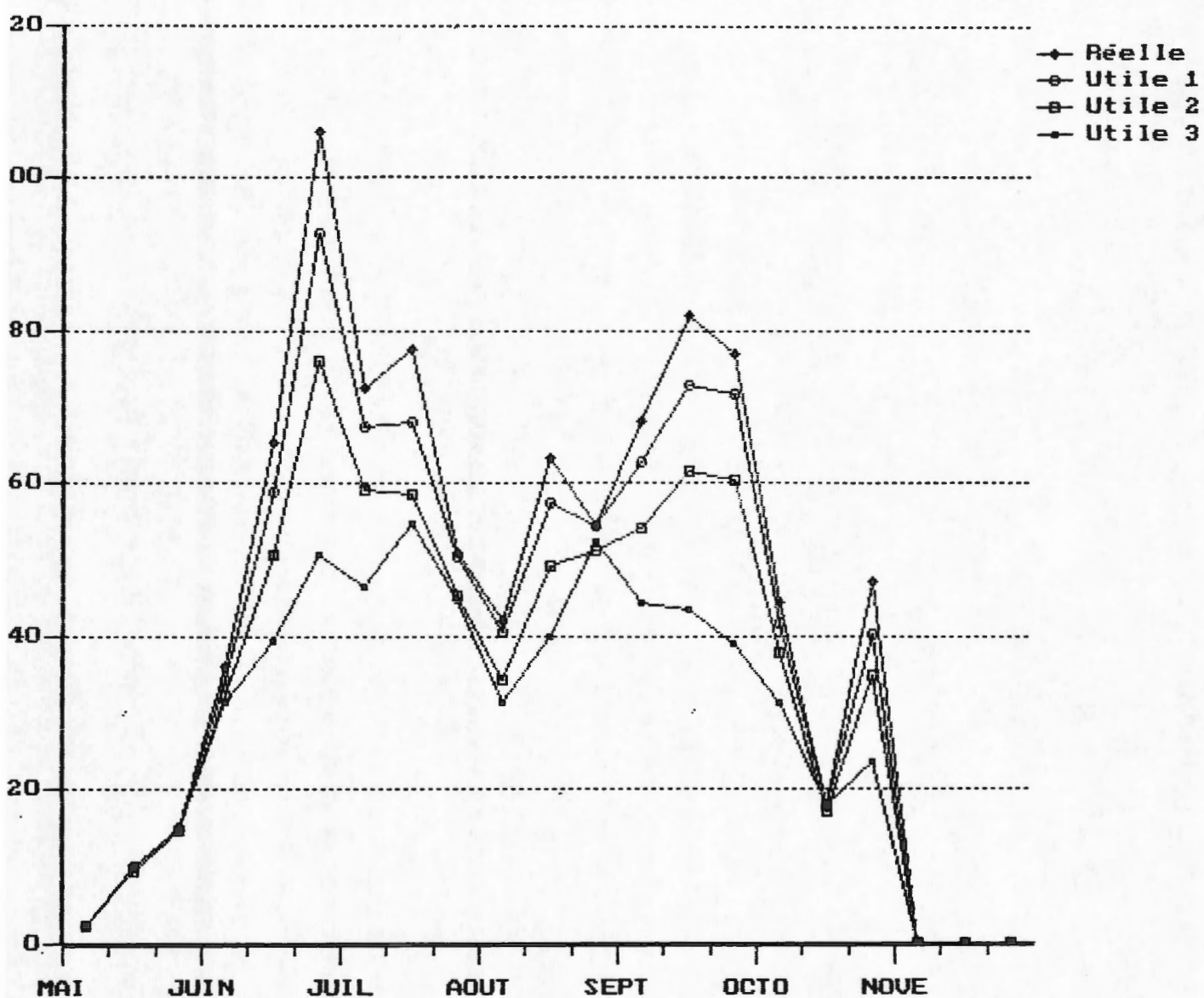
\* Cas des sols peu profonds (RU de 50 mm).

Les besoins en eau du maïs sont estimés à partir de la prise en compte des coefficients culturaux obtenus in situ sur des parcelles labourées (cf annexe ).

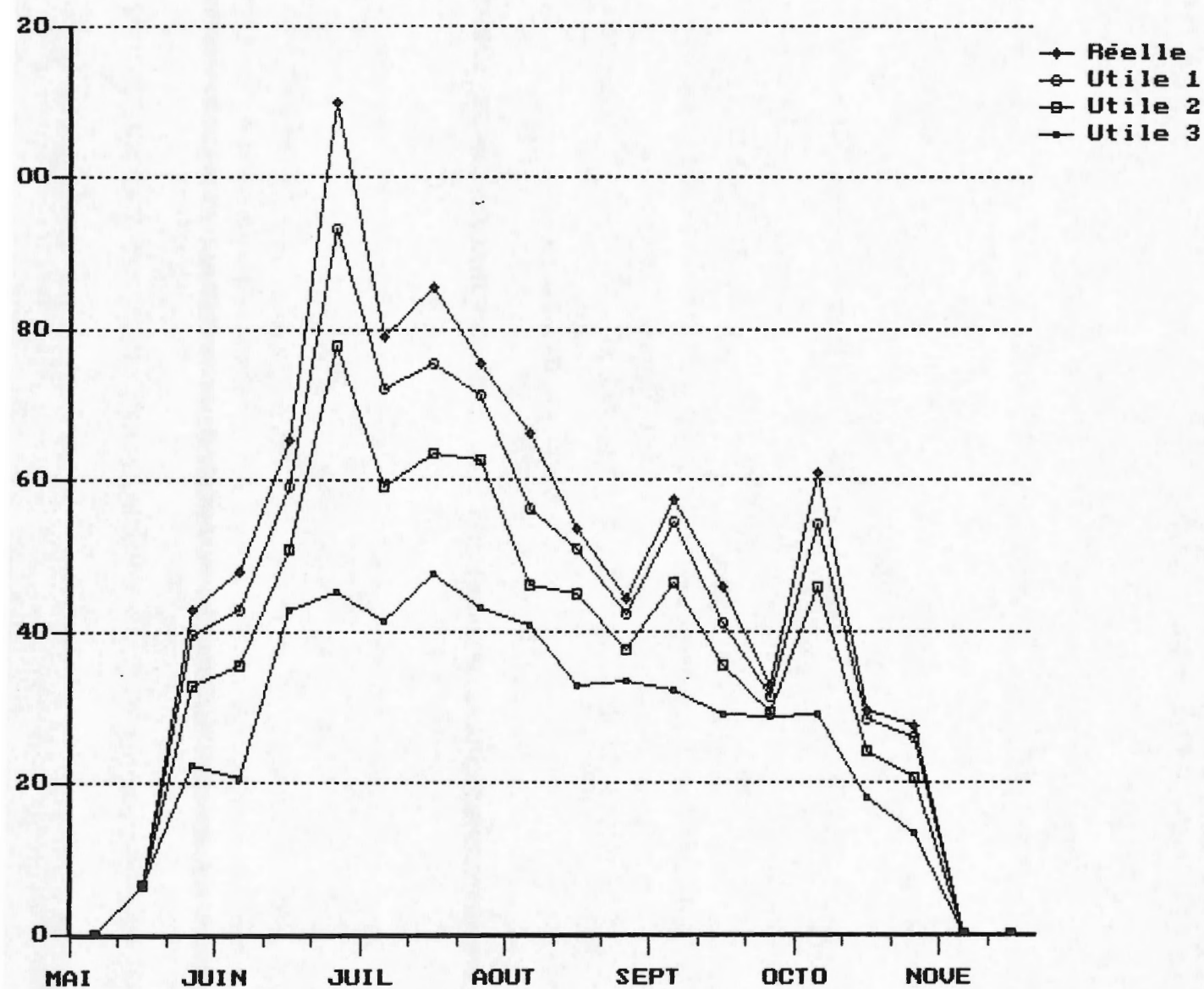
L'état de surface de la parcelle est considéré comme excellent.



## ANF 2/10 des pluies réelles et utiles à VENUSTIANO (MEXIQUE)

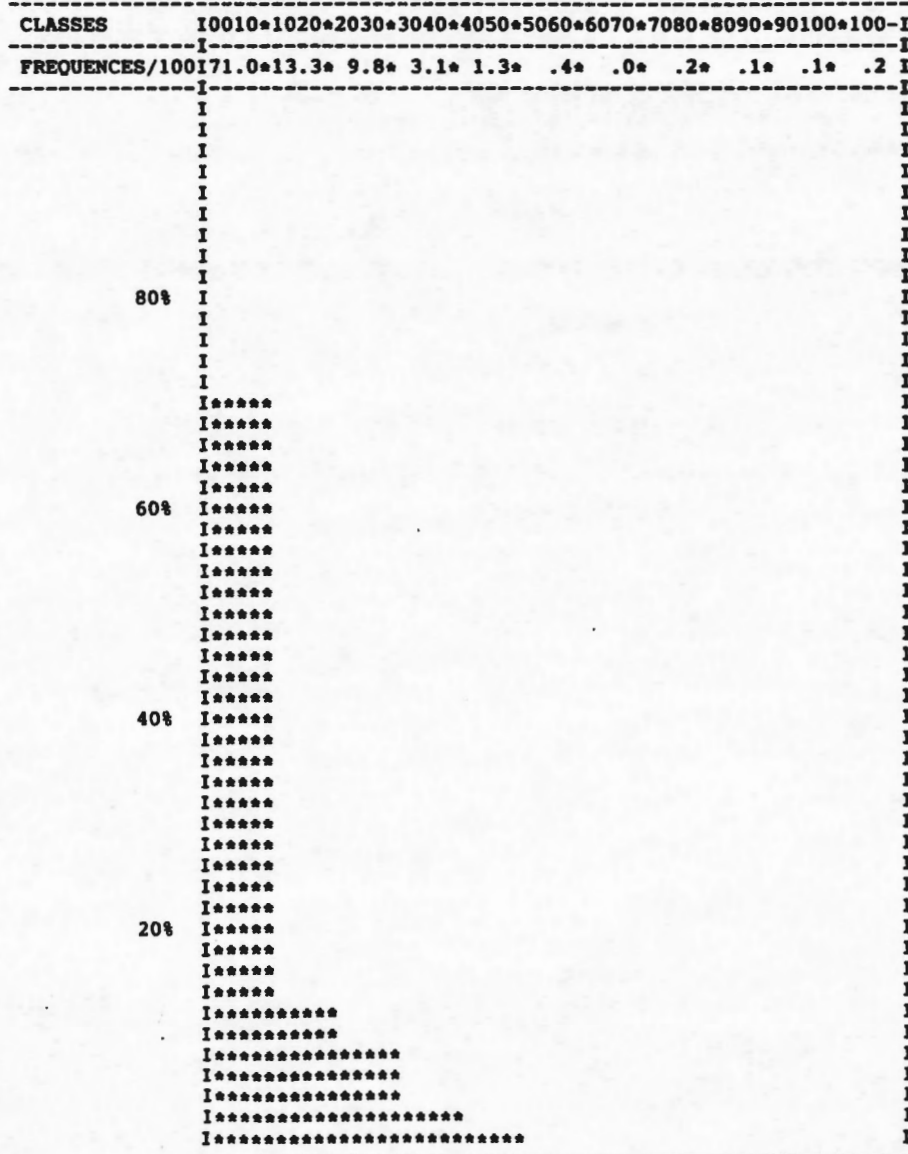


## ANF 2/10 des pluies réelles et utiles à TOLIMAN



\*\*\*\*\*  
 \* STATION DE TOLIMAN \*  
 \* PERIODE ETUDIEE 1/ 6 AU 31/10 \*  
 \* 23 ANNEES DE 1965 A 1987 \*  
 \*\*\*\*\*

HISTOGRAMME DE FREQUENCE DES INTENSITES DE PLUIE



\*\*\*\*\*  
 \* STATION DE VENUSTIANO C \*  
 \* PERIODE ETUDIEE 1/ 6 AU 31/10 \*  
 \* 15 ANNEES DE 1965 A 1989 \*  
 \*\*\*\*\*

HISTOGRAMME DE FREQUENCE DES INTENSITES DE PLUIE

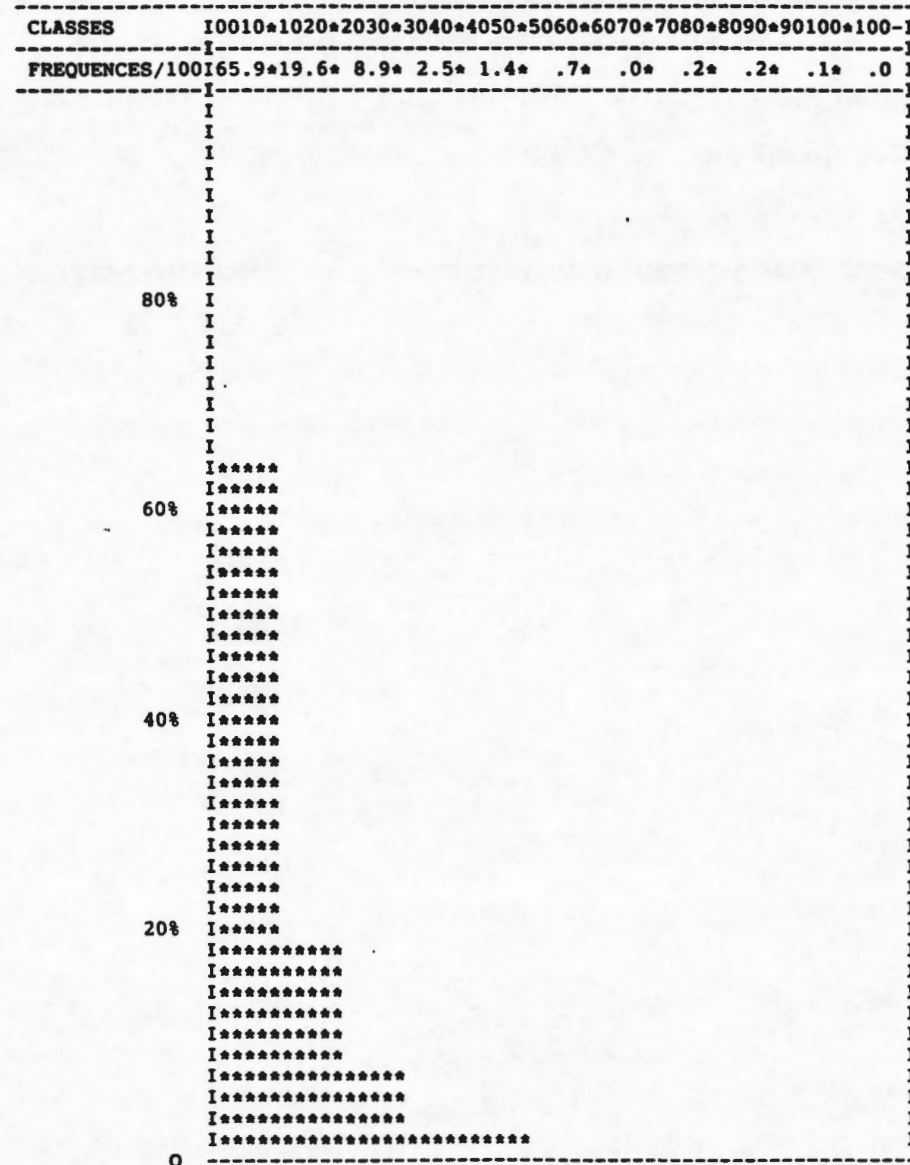


Figure 12.

## SIMULATION 1 DATE DE SEMIS

ULTURE Maism 115				115 jours				STATION : VENUSTIANO C							
SERVE MAXIMALE UTILISABLE : 50. mm				PLUIE POUR LE SEMIS PRECOCE : 40. mm											
UIL DE RUISSELLEMENT : 0 mm				DOSE D'IRRIGATION AU SEMIS : 0 mm											
EFFICIENT DE RUISSELLEMENT: 0 mm				DOSE EN COURS DE CULTURE : 0 mm											
ASES PHYSIO JAS				IDV 40		FL1 70		FL2 95		MATU 115		C Y C L E			
ATE DE SEMIS NEE PENTADE				ETR	DR	ETR	DR	ETR	DR	ETR	DR	ETR	DR	ETM	ETM
				/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	-	
				ETM	RU	ETM	RU	ETM	RU	ETM	RU	ETM	RU	ETR	
65 35 5E JUIN				.99	2.3	.94	2.0	.83	.0	.88	.9	.91	5.2	39.	420.
66 33 3E JUIN				1.00	2.2	.74	.6	.56●	.0	.97	1.5	.77	4.7	97.	428.
67 32 2E JUIN				1.00	3.2	.71	.2	.91	.3	.98	1.9	.87	6.7	56.	432.
68 35 5E JUIN				1.00	4.6	.73	.0	.72	1.5	.67	.0	.75	6.0	103.	420.
69 36 6E JUIN				1.00	1.3	.95	1.0	.77	.2	.76	1.1	.89	4.2	47.	417.
70 32 2E JUIN				1.00	3.0	.94	1.1	.84	.9	.70	.0	.88	5.2	53.	432.
72 31 1E JUIN				.97	.8	.58●	.0	.79	.5	.97	1.2	.78	2.5	96.	436.
73 35 5E JUIN				.99	3.7	.77	.7	.86	3.2	.73	.0	.82	7.8	74.	420.
75 35 5E JUIN				1.00	1.9	.94	.3	.92	.1	.39	.0	.85	2.3	61.	420.
84 33 3E JUIN				1.00	3.9	.95	.4	.73	.0	.83	.0	.85	4.3	62.	428.
85 34 4E JUIN				1.00	6.0	.87	.5	.92	9.9	.93	.4	.92	17.0	32.	425.
86 35 5E JUIN				1.00	2.6	.11●●	.2	.73	1.0	.95	.2	.68	4.4	135.	420.
87 33 3E JUIN				.99	4.4	.84	.6	.94	.9	.86	.0	.90	5.8	41.	428.
88 34 4E JUIN				.99	1.5	.75	.0	.83	.3	.91	.5	.84	2.9	66.	425.
MOYENNE				.99	3.	.77	1.	.81	1.	.82	1.	.84	6.	69.	425.
A N A L Y S E F R E Q U E N T I E L L E															
années/10 32				.99	1.54	.71	.01	.73	..	.70		.77			
années/10 34				1.00	2.79	.81	.43	.83	.	.87		.85			
années/10 35				1.00	4.36	.94	1.02	.92		.97		.90			

- Sécheresse affectant la productivité grain d'une partie des plants.
- Sécheresse affectant l'ensemble des plants sue le champ.

Etat de surface (2) -Effet du ruissellement sur ETR.

CULTURE Maism 115				115 jours				STATION : VENUSTIANO							
RESERVE MAXIMALE UTILISABLE :				50.mm				PLUIE POUR LE SEMIS PRECOCE :				40. mm			
SEUIL DE RUISSELLEMENT :				0 mm				DOSE D'IRRIGATION AU SEMIS :				0 mm			
COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT:				0 mm				DOSE EN COURS DE CULTURE :				0 mm			
PHASES PHYSIO JAS				IDV 40		FL1 70		FL2 95		MATU 115		C Y C L E			
				ETR	DR	ETR	DR	ETR	DR	ETR	DR	ETR	DR	Ruiss	ETM
DATE DE SEMIS ANNEE PENTADE				/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	en mm	
				ETM	RU	ETM	RU	ETM	RU	ETM	RU	ETM	RU		
1965 35 5E JUIN				.99	1.6	.94	1.1	.70	.0	.94	.3	.88	3.0	11.	420.
1966 33 3E JUIN				.99	1.2	.74	.3	.50●●	.0	.96	.7	.75	2.4	9.	428.
1967 32 2E JUIN				1.00	1.9	.71	.1	.87	.0	.97	1.0	.85	3.8	7.	432.
1968 35 5E JUIN				1.00	2.9	.72	.0	.68●	.6	.57	.0	.72	3.5	15.	420.
1969 36 6E JUIN				1.00	.7	.95	.5	.77	.0	.75	.4	.88	1.9	1.	417.
1970 32 2E JUIN				1.00	1.7	.92	.5	.78	.3	.67	.0	.85	2.5	13.	432.
1972 32 2E JUIN				.98	.5	.63●	.0	.74	.0	.96	.5	.77	1.0	2.	432.
1973 35 5E JUIN				.99	2.3	.76	.3	.82	1.4	.69	.0	.80	3.9	9.	420.
1975 35 5E JUIN				1.00	1.1	.94	.2	.89	.0	.31	.0	.83	1.3	11.	420.
1984 35 5E JUIN				1.00	2.9	.89	.2	.72	.0	.47	.0	.79	3.1	28.	420.
1985 34 4E JUIN				1.00	3.6	.87	.1	.81	.0	.92	.0	.89	3.8	17.	425.
1986 35 5E JUIN				1.00	1.4	.92	.4	.71	.3	.95	.0	.87	2.3	21.	420.
1987 34 4E JUIN				.99	2.5	.84	.7	.72	.0	.83	.0	.85	3.3	25.	425.
1988 35 5E JUIN				.99	.7	.76	.0	.77	.0	.73	.1	.81	.9	22.	420.
MOYENNE				.99	2.	.83	0.	.75	0.	.77	0.	.82	3.	6.	424.
A N A L Y S E F R E Q U E N T I E L L E															
8 années/10 32				.99	.72	.72	.03	.70		.57		.77			
5 années/10 35				1.00	1.64	.86	.23	.75		.79		.84			
2 années/10 35				1.00	2.86	.94	.48	.82		.96		.88			



Figure 15.

## SIMULATION 1 DATE DE SEMIS

CULTURE Maism 115				115 jours				STATION : TOLIMAN								
RESERVE MAXIMALE UTILISABLE :				50.mm				PLUIE POUR LE SEMIS PRECOCE :				40. mm				
EUIL DE RUISSELLEMENT :				0 mm				DOSE D'IRRIGATION AU SEMIS :				0 mm				
COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT:				0 mm				DOSE EN COURS DE CULTURE :				0 mm				
HASES PHYSIO JAS				IDV 40		FL1 70		FL2 95		MATU 115		C Y C L E				
				ETR /	DR /	ETR /	DR /	ETR /	DR /	ETR /	DR /	ETR /	DR /	ETM -	ETM	
DATE DE SEMIS NNEE PENTADE				ETM	RU	ETM	RU	ETM	RU	ETM	RU	ETM	RU	ETR		
965 35 5E JUIN				.95	1.0	.72	.0	.55●●	.0	.76	.0	.72	1.0	119.	422.	
966 35 5E JUIN				.99	1.6	.66●	.7	.67●	.0	.91	.5	.77	2.8	99.	422.	
967 35 5E JUIN				.99	.8	.76	.0	.84	.8	.97	.2	.87	1.9	56.	422.	
968 35 5E JUIN				.99	2.3	.61●	.0	.81	2.3	.55	.0	.73	4.6	113.	422.	
969 35 5E JUIN				.98	2.1	.68●	.1	.65●	.0	.75	.8	.76	3.0	100.	422.	
970 35 5E JUIN				.99	3.2	.79	.0	.66●	.0	.90	.6	.81	3.7	82.	422.	
971 31 1E JUIN				1.00	3.6	.53●●	.0	.38●●	.0	.95	.8	.65	4.5	156.	442.	
972 35 5E JUIN				.99	3.1	.95	.3	.77	.5	.91	.1	.90	4.0	43.	422.	
973 35 5E JUIN				.99	3.0	.90	1.8	.77	.0	.60	.0	.83	4.8	71.	422.	
974 37 1E JUIL				.99	3.5	.63●	.0	.42●●	.0	.35	.0	.60	3.5	167.	413.	
975 35 5E JUIN				.99	1.1	.48●●	.0	.61●	.0	.13	.0	.56	1.1	185.	422.	
976 34 4E JUIN				.90	.6	.82	.2	.80	.2	.52	.0	.78	1.0	96.	428.	
977 36 6E JUIN				1.00	2.1	.94	1.0	.37●●	.0	.00	.0	.63	3.0	153.	428.	
978 35 5E JUIN				1.00	1.7	.72	.0	.38●●	.0	.34	.0	.61	2.0	163.	422.	
979 35 5E JUIN				1.00	1.9	.90	.4	.33●●	.0	.30	.0	.66	2.3	145.	422.	
980 36 6E JUIN				.98	1.0	.89	.8	.37●●	.0	.33	.0	.67	2.8	137.	422.	
981 32 2E JUIN				.99	2.4	.92	1.8	.64●	.0	.49	.0	.78	4.3	95.	442.	
982 32 2E JUIN				.99	2.1	.90	1.8	.47●●	.0	.93	.0	.80	3.9	87.	422.	
983 33 3E JUIN				.99	.6	.77	.4	.82	.2	.54	.0	.78	1.2	96.	422.	
984 33 3E JUIN				1.00	.9	.79	.1	.51●●	.0	.88	.3	.77	3.1	98.	413.	
985 34 4E JUIN				1.00	5.1	.85	.0	.31●●	.0	.38	.0	.64	5.1	156.	428.	
986 34 4E JUIN				1.00	1.5	.84	.3	.52●●	1.0	.13	.0	.67	2.8	142.	428.	
987 35 5E JUIN				.98	.0	.51●●	.2	.45●●	.0	.44	.0	.57	.2	183.	422.	
MOYENNE				.99	2.	.76	0.	.57	0.	.57	0.	.72	3.	119.	425.	
A N A L Y S E F R E Q U E N T I E L L E																
années/10 33				.98	.85	.62	.00	.38		.33		.63				
années/10 35				.99	1.89	.79	.21	.55		.54		.73				
années/10 35				1.00	3.08	.90	.86	.78		.91		.80				

● Sécheresse affectant la productivité en grain d'une partie des plants.

●● Sécheresse affectant l'ensemble de la production sur le champ.



Etat de surface moyen (2) - Effet du ruissellement sur ETR .

CULTURE Maism 115				115 jours				STATION : TOLIMAN							
RESERVE MAXIMALE UTILISABLE :				50. mm				PLUIE POUR LE SEMIS PRECOCE :				40. mm			
SEUIL DE RUISELLEMENT :				0 mm				DOSE D'IRRIGATION AU SEMIS :				0 mm			
COEFFICIENT DE RUISELLEMENT:				0 mm				DOSE EN COURS DE CULTURE :				0 mm			
PHASES PHYSIO JAS				IDV 40		FL1 70		FL2 95		MATU 115		C Y C L E			
				ETR /	DR /	ETR /	DR /	ETR /	DR /	ETR /	DR /	ETR /	DR /	Ruiss en mm	ETM mm
DATE DE SEMIS ANNEE PENTADE				ETM /	RU /	ETM /	RU /	ETM /	RU /	ETM /	RU /	ETM /	RU /	ETM /	RU /
1965	35	5E	JUIN	.95	.4	.67•	.0	.48••	.0	.68	.0	.67	.4	20	422.
1966	35	5E	JUIN	.99	.8	.62•	.3	.56•	.0	.80	.2	.70	1.3	73	422.
1967	35	5E	JUIN	.99	.4	.64•	.0	.83	.0	.96	.0	.82	.4	17	422.
1968	35	5E	JUIN	.99	1.2	.55•	.0	.78	.9	.52	.0	.69	2.1	16	422.
1969	36	6E	JUIN	.97	.9	.75	.0	.45••	.0	.78	.3	.74	1.2	11	418.
1970	35	5E	JUIN	.99	1.6	.75	.0	.57•	.0	.90	.0	.76	1.6	18	422.
1971	31	1E	JUIN	1.00	1.9	.49••	.0	.35••	.0	.94	.3	.62	2.1	11	442.
1972	35	5E	JUIN	.99	1.7	.91	.0	.68•	.1	.89	.0	.85	1.8	19	422.
1973	35	5E	JUIN	.99	1.8	.90	.8	.65•	.0	.48	.0	.78	2.7	22	422.
1974	37	1E	JUIL	.99	2.1	.56•	.0	.40••	.0	.32	.0	.56	2.1	13	413.
1975	35	5E	JUIN	.99	.5	.47••	.0	.52•	.0	.13	.0	.53	.5	12	422.
1976	34	4E	JUIN	.90	.2	.77	.0	.68•	.0	.44	.0	.71	.2	30	428.
1977	36	6E	JUIN	1.00	1.2	.94	.5	.33••	.0	.00	.0	.62	1.6	7	418.
1978	35	5E	JUIN	1.00	.7	.71	.0	.39••	.0	.31	.0	.60	.8	6	422.
1979	35	5E	JUIN	1.00	1.2	.86	.2	.31••	.0	.30	.0	.64	1.3	18	422.
1980	36	6E	JUIN	.94	.4	.79	.3	.35••	.0	.32	.0	.63	1.0	19	418.
1981	32	2E	JUIN	.99	1.4	.91	.8	.55•	.0	.46	.0	.75	2.2	16	437.
1982	32	2E	JUIN	.99	.9	.89	.9	.44••	.0	.90	.0	.78	1.8	13	437.
1983	33	3E	JUIN	.99	.0	.75	.1	.75	.0	.46	.0	.74	.2	18	432.
1984	33	3E	JUIN	1.00	.4	.75	.0	.41••	.0	.83	.0	.72	1.4	24	432.
1985	35	5E	JUIN	.99	3.1	.71	.0	.24••	.0	.31	.0	.56	3.1	29	422.
1986	34	4E	JUIN	1.00	.6	.84	.0	.48••	.6	.13	.0	.65	1.3	7	428.
1987	35	5E	JUIN	.91	.0	.48••	.0	.42••	.0	.38	.0	.51	.0	23	422.
MOYENNE				.98	1.	.73	0.	.51	0.	.53	0.	.68	1.	17.	425.
A N A L Y S E F R E Q U E N T I E L L E															
8 années/10 33				.97	.39	.56	.00	.35		.31		.59			
5 années/10 35				.99	.90	.75	.00	.48		.46		.69			
2 années/10 35				1.00	1.76	.89	.33	.68		.89		.77			

Dans ces conditions idéales de ruissellement nul, la maïsiculture n'est pas limitée par la sécheresse 8 années sur 10 en zone haute (fig 13); si on considère un état de surface plus proche de la réalité, soit de classe 2, les effets négatifs sur les indices d'alimentation hydrique se font sentir 5 années sur 10 (Fig 14).

En zone basse, le risque de sécheresse est persistant 5 années sur 10, même si l'état de surface est parfait (Fig 15). L'aggravation est nette si l'hypothèse de ruissellement (classe 2) est retenue (fig 16), en particulier en ce qui concerne la phase de remplissage de l'épi.

#### 5/2 Cas de la protection du sol par couverture pailleuse.

Les pertes par évaporation au cours des 40 premiers jours sont considérablement diminuées. Pour en tenir compte dans la modélisation, Les coefficients cultureux sont pondérés en utilisant les résultats obtenus sur maïs aux USA et au Brésil.

En admettant que la couverture du sol autorise un état de surface excellent, les chances de réussite de la culture sont considérablement accrues. L'effet "mulch" se traduit par un accroissement des indices de satisfaction aussi bien à Venustiano Carranza qu'à Toliman (fig 17 et 18).

Effet attendu au moins 5 années/10 de la protection du sol sur les termes du bilan hydrique : ETR et excès d'eau.

RU : 50 mm		Station de Venustiano Carranza			
Technique	Labour conventionnel		Protection pailleuse		
Etat surface	(0)	(2)	(0)		
ETM(cycle)	425		372	mm	
ETR/ETM cycle)	85	84	87 %	+ 3%	
ETR/ETM P.C .	83	75	84 %	+ 9%	
DR/RU cycle	6	3	6		

RU : 50 mm		Station de Toliman			
Technique	Labour conventionnel		Protection pailleuse		
Etat surface	(0)	(2)	(0)		
ETM(cycle)	425		372	mm	
ETR/ETM cycle)	73	69	77 %	+ 8%	
ETR/ETM P.C .	55	48	61 %	+13%	
DR/RU cycle	3	1	4		

On notera l'accroissement de l'indice d'excès d'eau sous l'effet de la technique de couverture pailleuse.

## Protection du sol par couverture pailleuse -effet sur ETM et ETR .

CULTURE Maispd115				115 jours				STATION : VENUSTIANO							
RESERVE MAXIMALE UTILISABLE :				50. mm				PLUIE POUR LE SEMIS PRECOCE :				40. mm			
SEUIL DE RUISSELLEMENT :				0 mm				DOSE D'IRRIGATION AU SEMIS :				0 mm			
COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT:				0 mm				DOSE EN COURS DE CULTURE :				0 mm			
PHASES PHYSIO JAS				IDV 40		FL1 70		FL2 95		MATU 115		C Y C L E			
				ETR	DR	ETR	DR	ETR	DR	ETR	DR	ETR	DR	ETM	ETM
DATE DE SEMIS				/	/	/	/	/	/	/	/	-			
ANNEE PENTADE				ETM	RU	ETM	RU	ETM	RU	ETM	RU	ETR			
1965 35 5E JUIN				1.00	2.9	.96	2.3	.85	.0	.94	.8	.92	6.0	28.	366.
1966 33 3E JUIN				1.00	2.8	.79	.8	.58●	.0	.97	1.5	.77	5.5	84.	374.
1967 32 2E JUIN				1.00	3.8	.78	.4	.91	.3	.98	1.9	.89	7.5	41.	376.
1968 35 5E JUIN				1.00	5.2	.83	.1	.73	1.5	.67	.0	.77	6.8	85.	366.
1969 36 6E JUIN				1.00	1.9	.97	1.4	.77	.2	.76	1.1	.88	5.2	44.	363.
1970 32 2E JUIN				1.00	3.6	.96	1.5	.84	.9	.70	.0	.87	6.3	49.	376.
1972 31 1E JUIN				1.00	1.1	.81	.1	.79	.5	.97	1.2	.84	2.9	60.	381.
1973 35 5E JUIN				1.00	4.1	.87	1.0	.87	3.2	.73	.0	.84	8.6	58.	366.
1975 35 5E JUIN				1.00	2.5	.96	.7	.92	.1	.39	.0	.84	3.3	57.	366.
1984 33 3E JUIN				1.00	4.6	.97	.7	.71	.0	.82	.0	.85	5.3	56.	374.
1985 34 4E JUIN				1.00	6.6	.93	.7	.89	.0	.93	.4	.92	8.0	28.	370.
1986 35 5E JUIN				1.00	3.3	.96	1.1	.75	1.0	.95	.2	.88	6.0	43.	366.
1987 33 3E JUIN				1.00	4.8	.94	.9	.94	.9	.86	.0	.93	6.6	25.	374.
1988 34 4E JUIN				1.00	1.9	.96	.1	.84	.3	.91	.5	.91	3.3	34.	370.
MOYENNE				1.00	3.	.91	1.	.81	1.	.83	1.	.87	6.	49.	371.
A N A L Y S E F R E Q U E N T I E L L E															
8 années/10 32				1.00	1.89	.81	.11	.73		.70		.84			
5 années/10 34				1.00	3.42	.95	.78	.84		.88		.87			
2 années/10 35				1.00	4.82	.96	1.43	.91		.97		.92			

Figure 19.

Couverture du sol -Effet sur ETM et ETR .

CULTURE Maispd115				115 jours				STATION : TOLIMAN							
RESERVE MAXIMALE UTILISABLE :				50.mm				PLUIE POUR LE SEMIS PRECOCE :				40. mm			
SEUIL DE RUISSELLEMENT :				0 mm				DOSE D'IRRIGATION AU SEMIS :				0 mm			
COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT:				0 mm				DOSE EN COURS DE CULTURE :				0 mm			
PHASES PHYSIO JAS				IDV 40		FL1 70		FL2 95		MATU 115		C Y C L E			
				ETR /	DR /	ETR /	DR /	ETR /	DR /	ETR /	DR /	ETR /	DR /	ETM -	ETM
DATE DE SEMIS ANNEE PENTADE				ETM	RU	ETM	RU	ETM	RU	ETM	RU	ETM	RU	ETR	
1965 35 5E JUIN				1.00	1.2	.87	.1	.59●	.0	.77	.0	.77	1.4	85.	367.
1966 35 5E JUIN				1.00	2.1	.77	.9	.67●	.0	.91	.5	.78	3.5	79.	367.
1967 35 5E JUIN				1.00	1.4	.96	.0	.84	.8	.97	.2	.93	2.4	26.	367.
1968 35 5E JUIN				1.00	2.8	.86	.0	.73	2.3	.55	.0	.77	5.2	85.	367.
1969 35 5E JUIN				1.00	2.5	.94	.2	.65●	.0	.75	.8	.82	3.4	67.	367.
1970 35 5E JUIN				1.00	3.8	.87	.2	.70	.0	.90	.5	.82	4.5	64.	367.
1971 31 1E JUIN				1.00	4.2	.71	.0	.38●●	.0	.95	.8	.67	5.1	128.	384.
1972 35 5E JUIN				1.00	3.6	.97	.7	.79	.5	.91	.1	.90	4.9	37.	367.
1973 35 5E JUIN				1.00	3.6	.95	2.1	.78	.0	.60	.0	.83	5.7	62.	367.
1974 37 1E JUIL				1.00	3.9	.84	.0	.42●●	.0	.34	.0	.63	3.9	135.	360.
1975 35 5E JUIN				1.00	1.6	.64	.0	.63●	.0	.13	.0	.57	1.6	157.	367.
1976 34 4E JUIN				1.00	.6	.94	.7	.82	.2	.52	.0	.83	1.5	65.	372.
1977 36 6E JUIN				1.00	2.7	.96	1.4	.37●●	.0	.00	.0	.59	4.1	150.	363.
1978 35 5E JUIN				1.00	2.3	.82	.0	.46●●	.0	.34	.0	.62	2.7	141.	367.
1979 35 5E JUIN				1.00	2.5	.96	.7	.31●●	.0	.30	.0	.63	3.2	136.	367.
1980 36 6E JUIN				1.00	1.4	.95	1.3	.40●●	.0	.34	.0	.66	3.6	123.	363.
1981 32 2E JUIN				1.00	3.1	.96	2.1	.66●	.0	.49	.0	.78	5.3	84.	379.
1982 32 2E JUIN				1.00	2.8	.95	2.1	.45●●	.0	.93	.0	.79	4.9	80.	379.
1983 33 3E JUIN				1.00	1.1	.85	.8	.83	.2	.54	.0	.79	2.0	80.	376.
1984 33 3E JUIN				1.00	1.5	.88	.4	.52●	.0	.88	.3	.78	3.9	83.	376.
1985 34 4E JUIN				1.00	5.7	.94	.1	.35●●	.0	.38	.0	.63	5.8	136.	372.
1986 34 4E JUIN				1.00	2.0	.94	.5	.61●	.8	.13	.0	.70	3.4	112.	372.
1987 35 5E JUIN				1.00	.4	.61●	.5	.45●●	.0	.44	.0	.56	.9	162.	367.
MOYENNE				1.00	2.	.88	1.	.58	0.	.57	0.	.73	4.	99.	370.
A N A L Y S E F R E Q U E N T I E L L E															
8 années/10 33				1.00	1.33	.81	.00	.39		.33		.62			
5 années/10 35				1.00	2.48	.94	.52	.61		.54		.77			
2 années/10 35				1.00	3.66	.96	1.32	.79		.91		.83			



L'effet hydrique est maximum pour la phase de remplissage de l'épi, et diminue avec l'altitude. Ces premières informations fournies par la simulation sont à confirmer par les observations de terrain et en particulier doivent être rapprochées des mesures et résultats obtenus par E. Scopel au cours de la campagne 1990.

\* L'effet de la profondeur du sol.

Les sols de la zone d'intervention sont en majorité, superficiels, déposés sur une induration calcaire. Toutefois, certains dispositifs sont mis en place sur des sols andiques ne présentant pas de limite à la descente des racines. Par simulation du bilan hydrique, il est possible de tester la sensibilité des réponses hydriques à la prise en compte d'une réserve utile plus élevée (80 mm).

Effet hydrique attendu 5 années/10 en situation de sol profond.

RU : 80 mm		Station de Venustiano Carranza			
Technique	Labour conventionnel		Protection pailleuse		
Etat surface	(0)	(2)	(0)		
ETM(cycle)	425		372	mm	
ETR/ETM cycle)	86	83	91 %	+ 8%	
ETR/ETM P.C .	82	72	83 %	+11%	
DR/RU cycle	4	2	3		

RU : 80 mm		Station de Toliman			
Technique	Labour conventionnel		Protection pailleuse		
Etat surface	(0)	(2)	(0)		
ETM(cycle)	425		372	mm	
ETR/ETM cycle)	69	66	70 %	+ 4%	
ETR/ETM P.C .	47	44	51 %	+ 7%	
DR/RU cycle	1	0,5	2		

### 5/3 Interprétation des simulations.

Les résultats des simulations mettent en évidence deux effets opposés de la profondeur enracinnable du sol sur les performances hydriques attendues de la technique testée.

En altitude, l'effet sol est positif, le gain de satisfaction des besoins en eau à la période critique passe de + 7 à + 11 %. Concernant le taux sur le cycle (production de mst), le gain d'indice passe de + 3 à + 8 % .

Dans la partie plus aride , l'effet profondeur du sol ne peut compenser l'effet sécheresse du au manque de pluie: Le gain de satisfaction passe de 13 à + 7 % pour la période critique et de + 8 à + 4 % pour l'indice ETR/ETM cycle.

Dans la pratique ,les effets relatifs les plus importants sur la croissance de la plante (ETR/ETMcycle) devraient être perceptibles sur les sols superficiels de la zone aride.Les effets sur la productivité de l'épi (ETR/ETM pc) devraient être plus importants sur les sols profonds de la zone haute sous réserve de l'absence d'autre contraintes agronomiques...

Les hypothèses de travail d'E Scopel , visant à analyser l'intérêt des techniques de couverture pour lutter contre la sécheresse semblent donc a priori cohérentes si l'on considère qu'une pluviosité irrégulière conjuguée à un sol superficiel sont deux facteurs déterminant la persistance du risque hydrique.

## VI Le Diagnostic hydrique pour la campagne 1990.

La collecte des données agrométéorologiques disponibles ,fin septembre autorise la réalisation d'un premier diagnostic hydrique préliminaire , dont les analyses seraient à rapprocher de la réalité terrain pour laquelle E.S dispose d'un ensemble d'observations et mesures.

Le diagnostic réalisé à l'aide du logiciel Bipode (bilan hydrique journalier) est proposé pour 4 sites répartis sur la toposéquence.

Les résultats graphiques ,évolution des stocks hydriques et indicateur de l'état hydrique du système sol-plante sont présentés en annexe. Les informations ,consignées dans les tableaux ci joints permettent de comparer l'évolution des termes du bilan en fonction des sites et des traitements.

Site:	Campo Expérimental	altitude:	900 m
Sol:	vertisol profond		
argile	35		%
limon	15		%
profondeur	> 100		cm
R.U.R max	> 166		mm
vitesse racinaire	1		cm/j
date semis	16/06/90		
pluie au 29/09	434		mm
Traitement :	Labour conventionnel	Couverture pailleuse	
Etat surface	(2)	(0)	
ruissellement	84	-	mm
SETM au 5/10	422	331	-109 mm
SETR au 5/10	259	271	+ 12 mm
SETR/SETM	61	82	+ 21 %
ETR/ETM p.c	45 (aout 3)	75 (sept 1)	%
Excès			
Iresp (*)	119	222	+ 98

Iresp =  $ETR(\text{semis}-5/10/90) \times ETR/ETM \text{ mini (période critique)}$   
Indique le rendement grain espéré.



Site:	JONAS -TINAJA	altitude: 1100 m
Sol:	sol brun sur induration calcaire	
argile	15	%
limon	10	%
profondeur	50	cm
R.U.R max	104	mm
vitesse racinaire	1	cm/j
date de semis	10/07/90	
pluie au 29/09	208	mm
Traitement :	Labour conventionnel	Couverture paillcusc
Etat surface	(2)	(0)
ruissellement	21	- mm
SETM au 5/10	315	231 - 84 mm
SETR au 5/10	189	175 - 14 mm
SETR/SETM	60	76 + 16 %
ETR/ETM p.c	43 (sept 3)	51 + 8 %
Excès eau	4	51 + 47 mm
Iresp	82	108 + 26

Site:	JOSE LOPEZ	altitude: 1200 m
Sol:	sol brun	
argile	15	%
limon	10	%
profondeur	100	cm
R.U.R max	139	mm
vitesse racinaire	1	cm/j
date de semis	5/07/90	
pluie au 29/09	236	mm
Traitement :	Labour conventionnel	Couverture paillcusc
Etat surface	(2)	(0)
ruissellement	23	- mm
SETM au 5/10	322	235 - 87 mm
SETR au 5/10	219	186 - 33 mm
SETR/SETM	68	79 + 11 %
ETR/ETM p.c	42 sept 3	61 + 19 %
Excès eau	-	38 + 38mm
Iresp	92	113 + 21

Il est intéressant de comparer les valeurs des indicateurs avec les observations faites ,lors des tournées de terrain ,fin septembre 1990.Les écarts entre les indicateurs calculés au 5/10/90 semblent assez bien correspondre aux différences de développement végétatif notées sur les sites 1,2 et 3 ,ou apparaissaient des "vagues" correspondant à la disposition ,au sein du Split-plot ,des traitements "couverture paillcusc".E.Scopel dispose d'un jeu de photo illustrant ce constat.

Site:	RAFAEL - LUPE	altitude:	1400 m
Sol:	sol brun léger		
argile	10		%
limon	27		%
profondeur	100		cm
R.U.R max	147		mm
vitesse racinaire	1		cm/j
date de semis	23/06/90		
pluie au 29/09	448		mm
Traitement :	Labour conventionnel	Couverture pailleuse	
Etat surface	(2)	(0)	
ruissellement	88	-	mm
SETM au 5/10	371	267	-104 mm
SETR au 5/10	296	223	- 73 mm
SETR/SETM	80	84	+ 4 %
ETR/ETM p.c	81	92	+ 11 %
Excès eau	-	101	+101 mm
Iresp	240	205	- 35

Comparaison indicateurs simulés et observation au champ.

Site	1- Campo Ex	2-Jose Lopez	3-Jonas	4-Rafael
Altitude	900	1100	1200	1400 m
Observation				
Croissance				
biomasse mais	CM >>> RM	CM > RM	CM > RM	CM < RM
Carence	zinc			zinc
Accidents	-	-	-	verse
traitement	CM RM	CM RM	CM RM	CM RM
SETR/SETM	82 61	79 68	76 60	84 80
Iresp	222 >>119	113 92	108 82	205 240
Excès	- -	38 -	51 4	101 - mm

N.B: CM couverture pailleuse ; RM labour conventionnel.

On notera ,enfin,que les dégats par verse ont été constatés sur le site 4 ou apparait bien un indice d'excès d'eau important conjugué à une fertilisation supérieure à la normale (140 N). Sur ce dispositif,le développement végétatif semblait être supérieur sur le traitement labour ,comme le laissent paraître les indicateurs. Les dégats par verse semblaient moins importants sur ce traitement (protection de la souche).

## VI-Conclusion provisoire et perspectives pour 1991.

La campagne 1990 ,resituée dans son environnement fréquentiel a été plutôt humide en zone d'altitude inférieure à 1100 m .Elle a été sèche en zone haute.Il s'agit donc d'une année "atypique".

Toutefois,les hypothèses formulées par le diagnostic fréquentiel semblent avoir été confirmées en partie sur le terrain:Les effets positifs relatifs induits par la couverture pailleuse, sur la croissance du couvert ont bien été observés sur les sites des zones basses. On notera par ailleurs la faible importance de l'excès d'eau sur les sites de basse et moyenne altitude,correspondant à un front d'humectation superficiel ,estimé par le modèle à environ 50 cm sur le traitement RM et 75 50 cm sur le traitement "couverture" (CM).

Cette remarque tend à confirmer le diagnostic pluviométrique précisant l'importance relative des pluies de faible quantité, susceptibles de limiter la croissance des racines en profondeur:Ce qui expliquerait bien l'effet positif relatif de la couverture pailleuse sur l'alimentation hydrique et la croissance du maïs,grâce à sa fonction de limitation de l'évaporation dans la tranche 0-30 cm.

Ces premiers éléments de diagnostic seront à affiner en prenant en compte une meilleure estimation de quelques paramètres indispensables:

- Estimation du gradient de demande climatique en fonction de l'altitude et de l'exposition,à partir d'une analyse et critique des données de base ,et en s'appuyant sur les bases théoriques disponibles (Inra). L'installation de stations de mesures climatiques sur sites est souhaitée.

- Calibration des réserves utiles racinaires en interprétant les profils culturaux , mesures texturales et suivis racinaires,à l'aide ,notamment,des premières indications obtenues par le suivi hydrique in situ en 1990:localisation du front d'humectation,liaison avec la présence racinaire.A noter la disponibilité de notre collègue M.Vaksmann (Mali) pour la calcul des courbes d'étalonnage (travail complexe lié à la nature andique des sols...).

- Suivi in situ fin et régulier du régime hydrique du sol à l'aide de la sonde neutronique.On notera que les différences de réponse de la plante se font "au millimètre près ",dans la mesure ou la transpiration constitue la principale part de l'ETR sur le traitement CM ,au moment des phases sensibles. Ainsi Vachaud et al ( communication projet MRES,1991 ,à paraître), montre qu'un différentiel de 30 mm réparti sur trois périodes sèches est explicatif d'une augmentation substantielle du rendement du mil à Nioro du rip (de 700 à 2400 kg/ha).

-Essai de validation d'un indicateur de type Iresp à partir de la prise en compte des mesures de Lai, hauteur, durée de la phase floraison-formation du grain permettant de mieux estimer l'ETRM en fonction de l'état de développement du couvert.

Ces différents travaux seront engagés à Montpellier lors du prochain passage d'E.Scopel.

Concernant les orientations du travail pour la prochaine campagne, nous suggérons donc qu'E.Scopel mette en place sur quelques sites un dispositif de suivi neutronique comportant un tubage à 2,50m. En vue de simplifier l'interprétation des suivis, il est suggéré de se limiter aux traitements "non sous-solés", moins hétérogènes.

### Bibliographie.

- Marchand.D;1988 : Modélisation fonctionnelle du bilan hydrique sur sol cultivé:approche déterministe ou stochastique ? Thèse IMG Grenoble -Université Joseph Fourier.Oct 1988.
- Bolanos.J,Edmeades.GO : Mejoramiento para tolerancia a sequia en Mais tropical:La experiencia del CIMMYT.XVIII Congreso Nacional de maiz y Sorgo.Vitoria ES. Brasil;Julio 29-agosto 3,1990.
- CIMMYT Program : The importance of the Anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize.ASA meeting,Anaheim,California,december,88.
- Scopel E,1990 :Projet de doctorat:Amélioration de l'alimentation hydrique du maïs pluvial et ses relations avec le travail du sol.Textcoco,Mars 1990.
- Edmeades GO.1990 :Trip report to Venustiano Carranza,July 26-28 1990.
- Phillips,RE.1985. No tillage agriculture,Principes and Practices Van Nostrand reinhold Company ,Inc 135 west,50 th street,NY city 10020.
- Manichon H;Sebillotte M;et al :Dossier semios direct:Les effets sur les systèmes de culture,in Perspectives agricoles février 1980 n° 34.



Dossier annexe.

- I/ -Fichiers coefficient cultural du mais.
  - RM : Labour conventionnel.
  - CM : Couverture pailleuse.
- II/ - Résultats graphiques de la simulation du bilan hydrique journalier Bipode.
  - Stock hydrique.
  - Etat hydrique % du système sol-plante.
- III/ - Note méthodologique d'utilisation de l'indicateur Iresp pour le calcul des prévisions de rendement.  
(Forest,Lidon,Reyniers.Doc réseau R3S/PF1 ).



Estimation des ratios ETRM/ETP décadaires en fonction  
du mode de préparation et couverture du sol  
Proposition Irat/Clipp.Sept 90.

STADES CULTURAUX DE :MAIS labour conventionnel

NOMBRES DES STADES :17

Stade	--	coef	-----	Dénomination complète	-----
1		15		LEVEE	
2		15		1 A 2 FEUILLLES	
3		15		3 FEUILLES	
4		20		4 FEUILLES	
5		25		5 FEUILLES	
6		30		6 FEUILLES	
7		40		7 FEUILLES	
8		45		8 FEUILLES	
9		50		9 FEUILLES	
10		70		10 FEUILLES	
11		80		11 FEUILLES ET PLUS	
12		105		APPARITION DE LA PANICULE MALE DANS LE CORNET	
13		120		FLORAISON : 50% DES SOIES SORTIES	
14		100		GRAIN LAITEUX : 80% D'EAU ENVIRON	
15		95		GRAIN LAITEUX-PATEUX	
16		90		GRAIN PATEUX : 50 A 70% D'EAU	
17		80		GRAIN VITREUX , MATURATION	

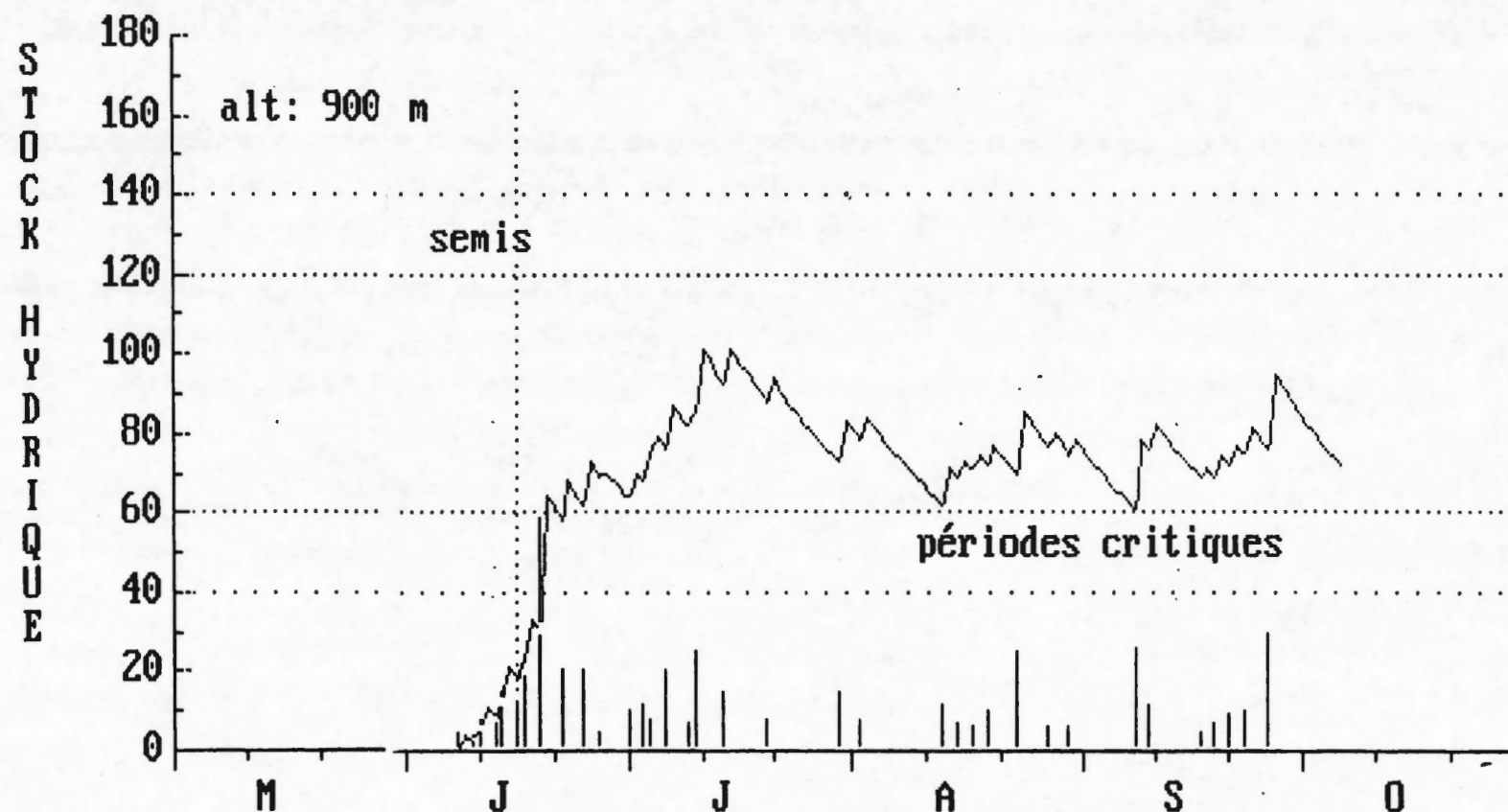
Culture de MAIS sous couverture pailleuse.

Stade	--	coef	-----	Dénomination complète	-----
1		30		LEVEE	
2		40		1 A 2 FEUILLLES	
3		50		3 FEUILLES	
4		55		4 FEUILLES	
5		60		5 FEUILLES	
6		65		6 FEUILLES	
7		70		7 FEUILLES	
8		75		8 FEUILLES	
9		80		9 FEUILLES	
10		85		10 FEUILLES	
11		90		11 FEUILLES ET PLUS	
12		105		APPARITION DE LA PANICULE MALE DANS LE CORNET	
13		120		FLORAISON : 50% DES SOIES SORTIES	
14		100		GRAIN LAITEUX : 80% D'EAU ENVIRON	
15		95		GRAIN LAITEUX-PATEUX	
16		90		GRAIN PATEUX : 50 A 70% D'EAU	
17		80		GRAIN VITREUX , MATURATION	

PARCELLE : CAMPORM  
SITE PLUVIO. : CAMPO90

CULTURE : MAIS  
SITE ETP: TOLIMAN

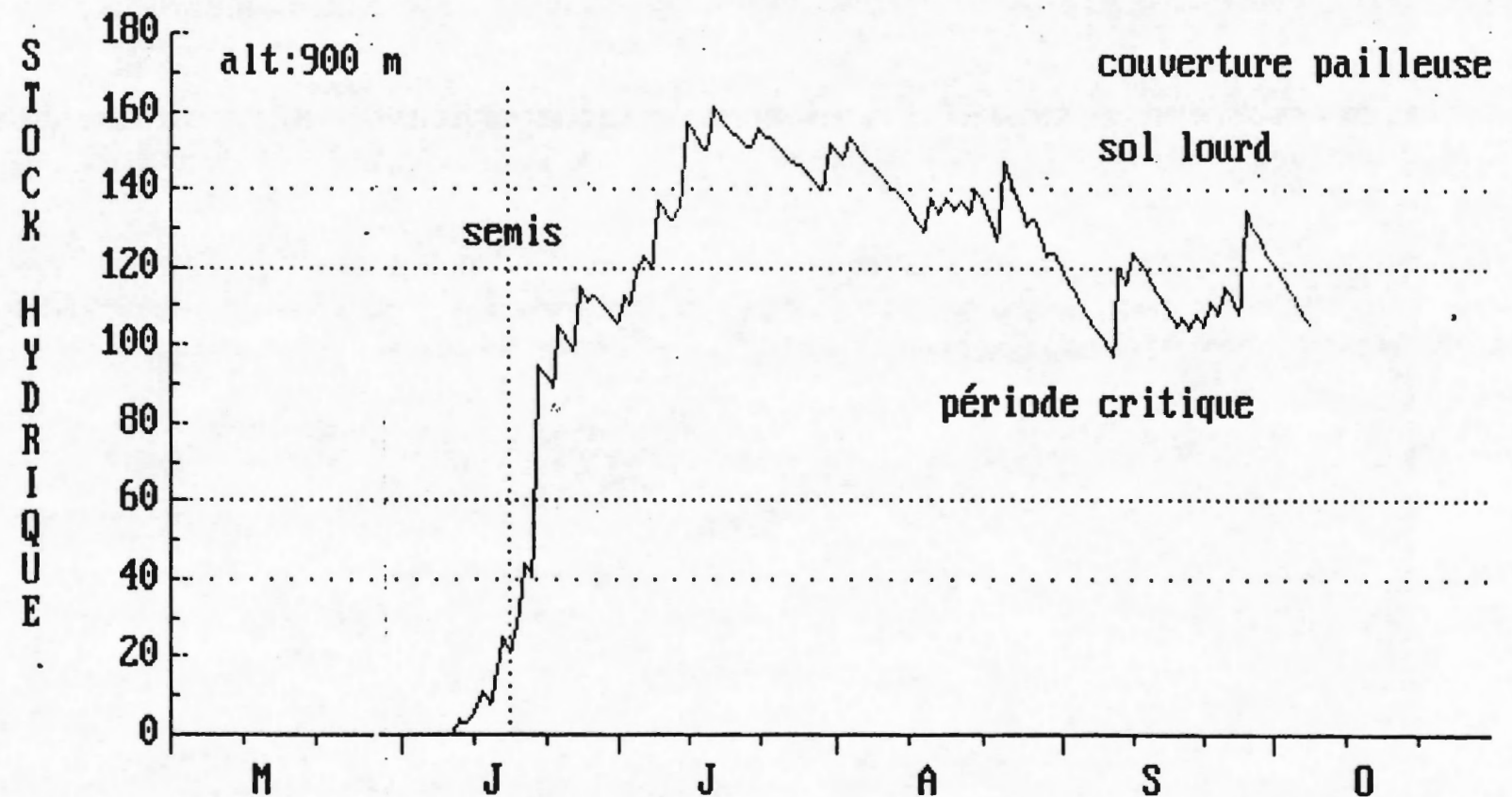
SIMULATION DU  
01/05/90 AU 05/10/90



PARCELLE : CAMPOCM  
SITE PLUVIO. : CAMPO90

CULTURE : MAPD  
SITE ETP: TOLIMAN

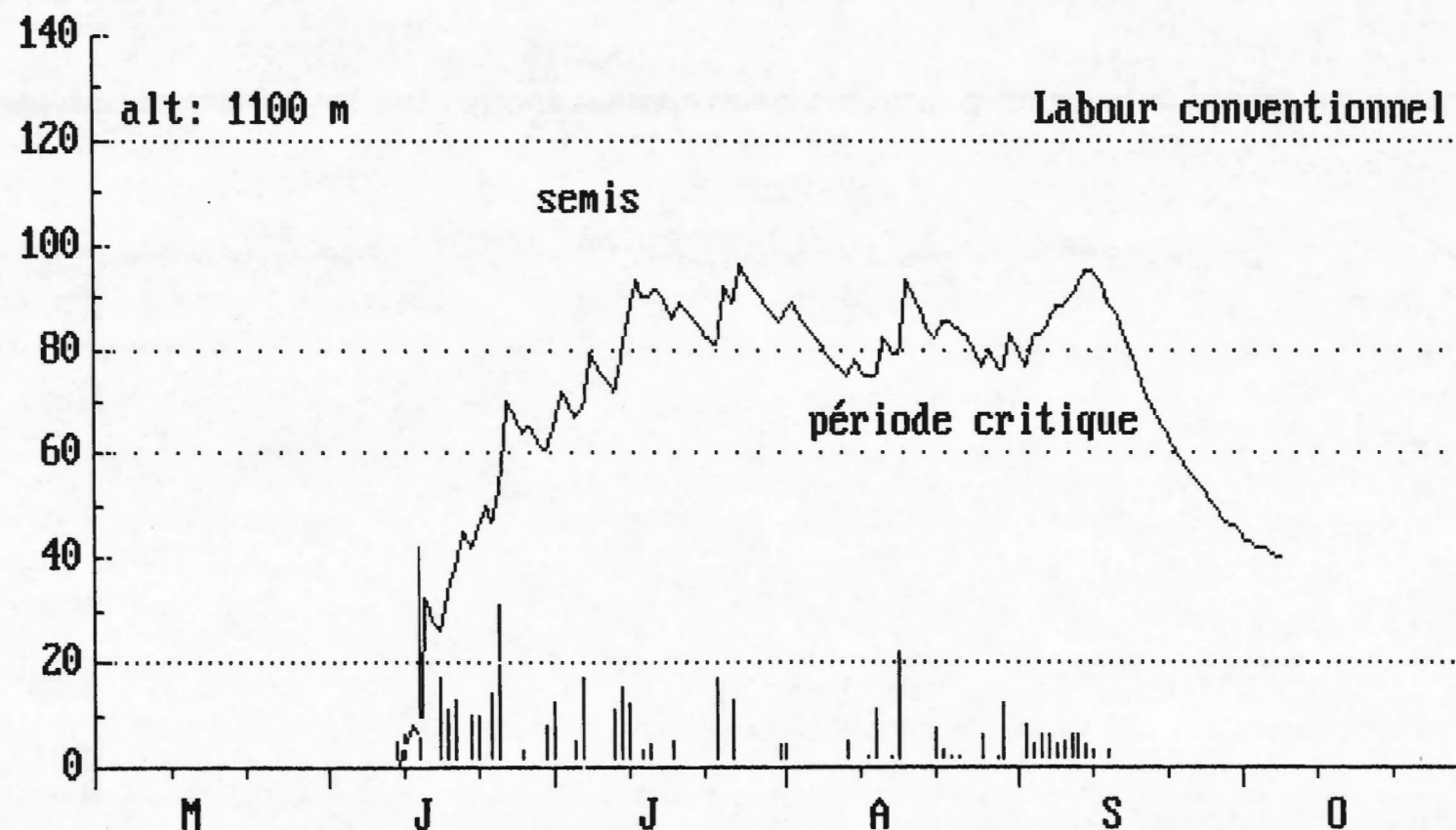
SIMULATION DU  
01/05/90 AU 05/10/90



ARCELLE : JOSERM  
ITE PLUVIO. : loma

CULTURE : mais  
SITE ETP: toliman

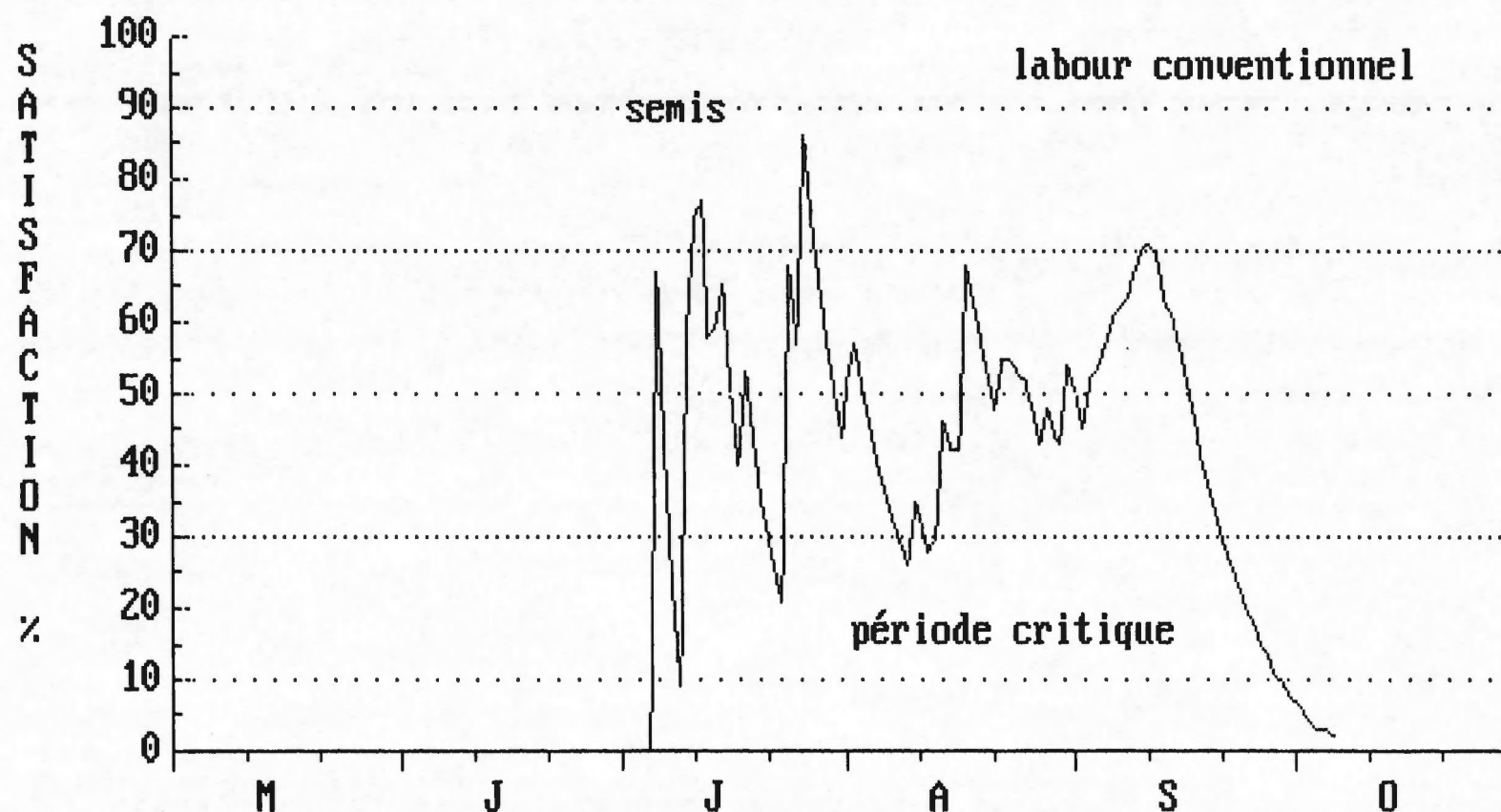
SIMULATION DU  
01/05/90 AU 05/10/90



PARCELLE : JOSERM  
SITE PLUVIO. : loma

CULTURE : mais  
SITE ETP: toliman

SIMULATION DU  
01/05/90 AU 05/10/90

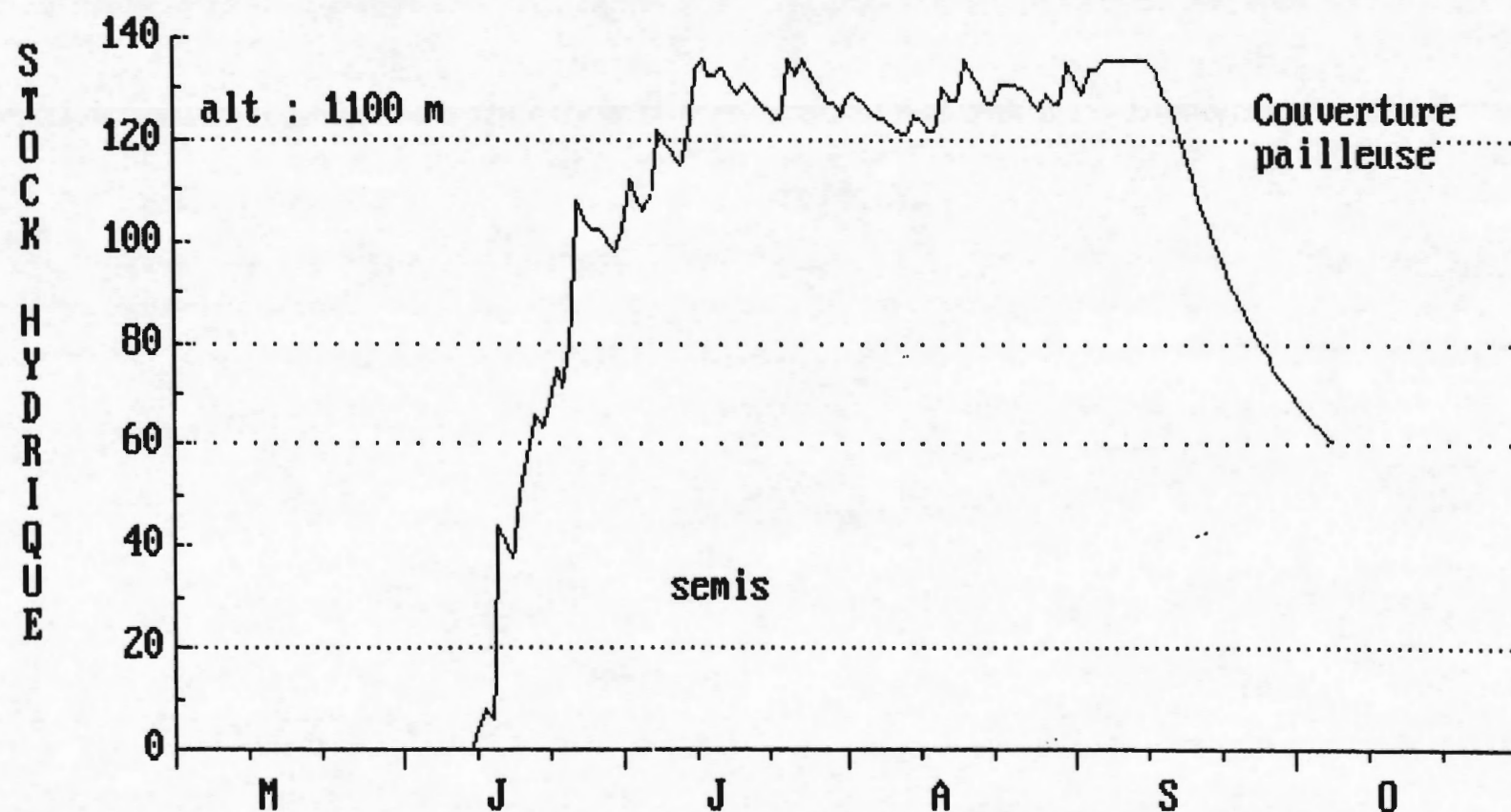




PARCELLE : JOSECM  
SITE PLUVIO. : loma

CULTURE : mapd  
SITE ETP: toliman

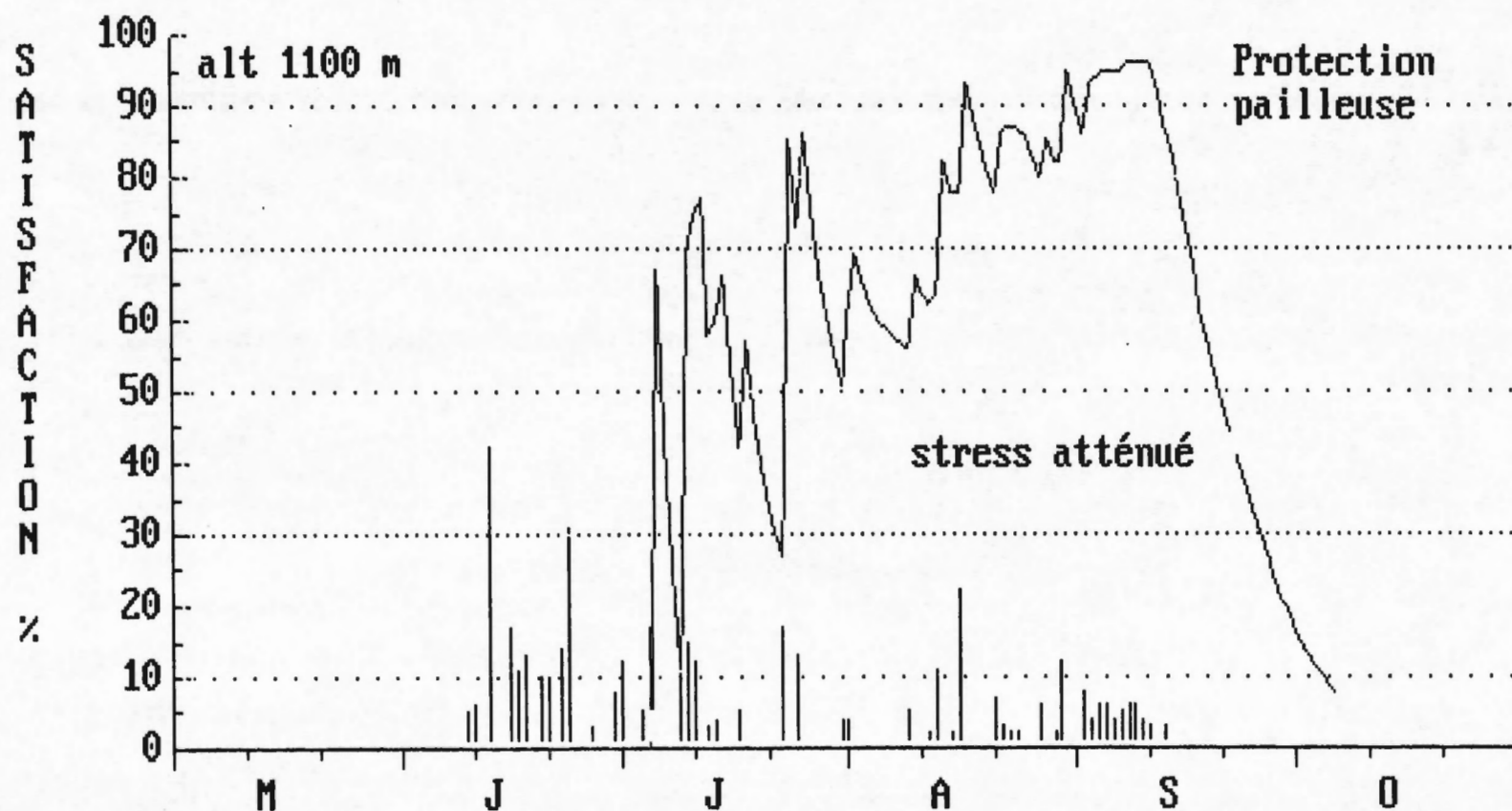
SIMULATION DU  
01/05/90 AU 05/10/90



PARCELLE : JOSECM  
SITE PLUVIO. : loma

CULTURE : mapd  
SITE ETP: toliman

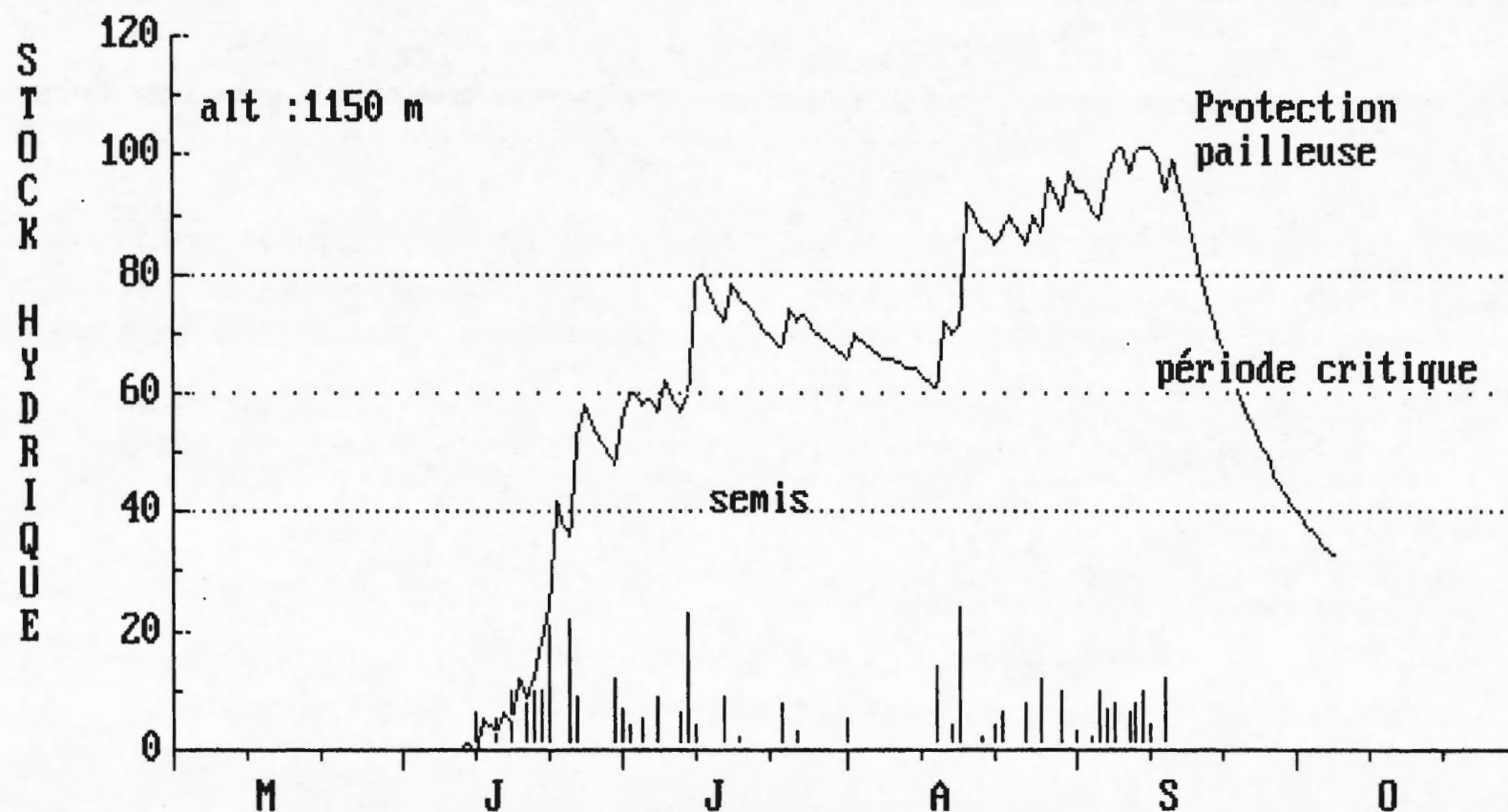
SIMULATION DU  
01/05/90 AU 05/10/90



PARCELLE : JONASCM  
SITE PLUVIO. : tinaja

CULTURE : mapd  
SITE ETP: toliman

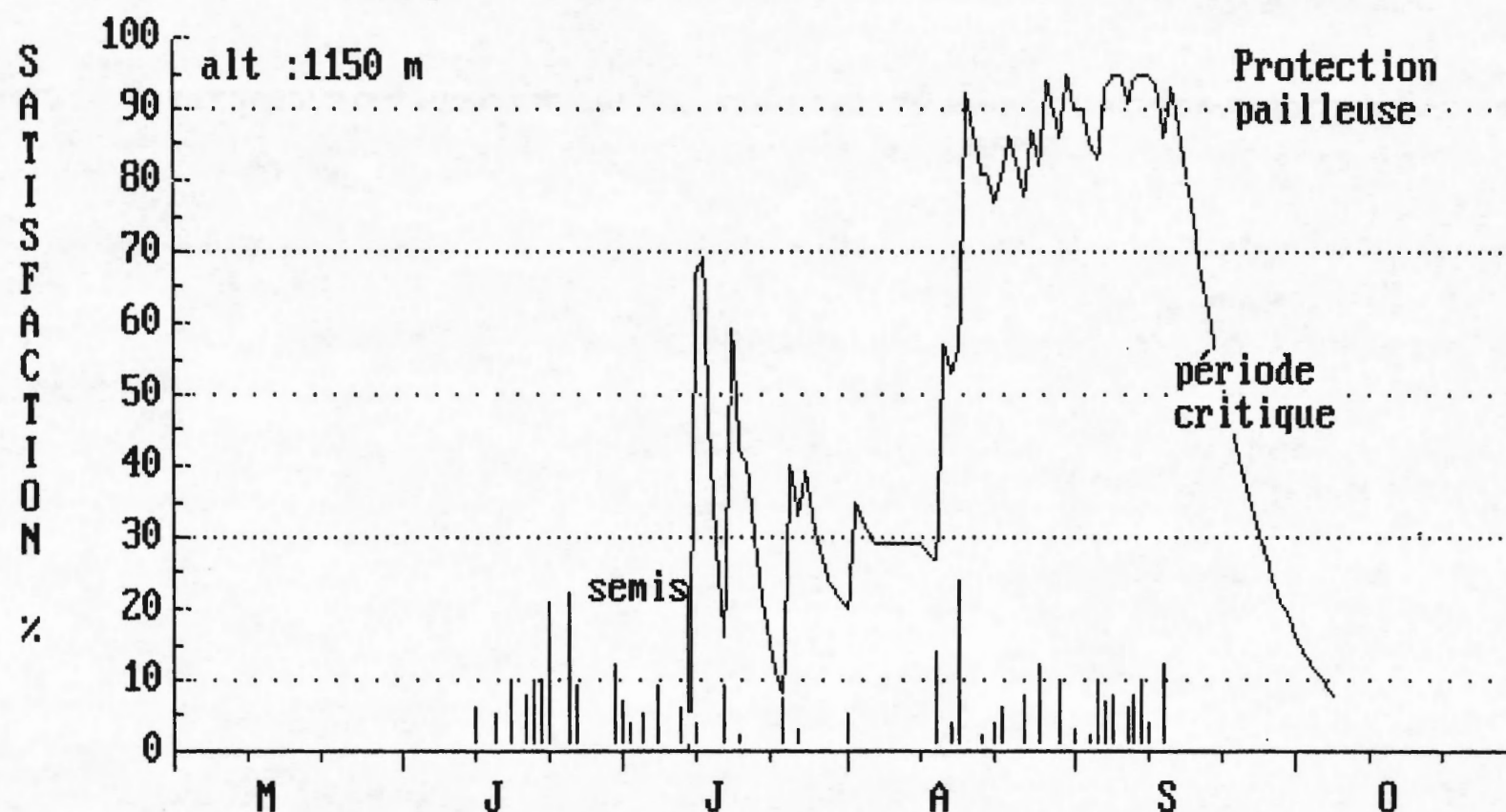
SIMULATION DU  
01/05/90 AU 05/10/90



PARCELLE : JONASCM  
SITE PLUVIO. : tinaja

CULTURE : mapd  
SITE ETP: toliman

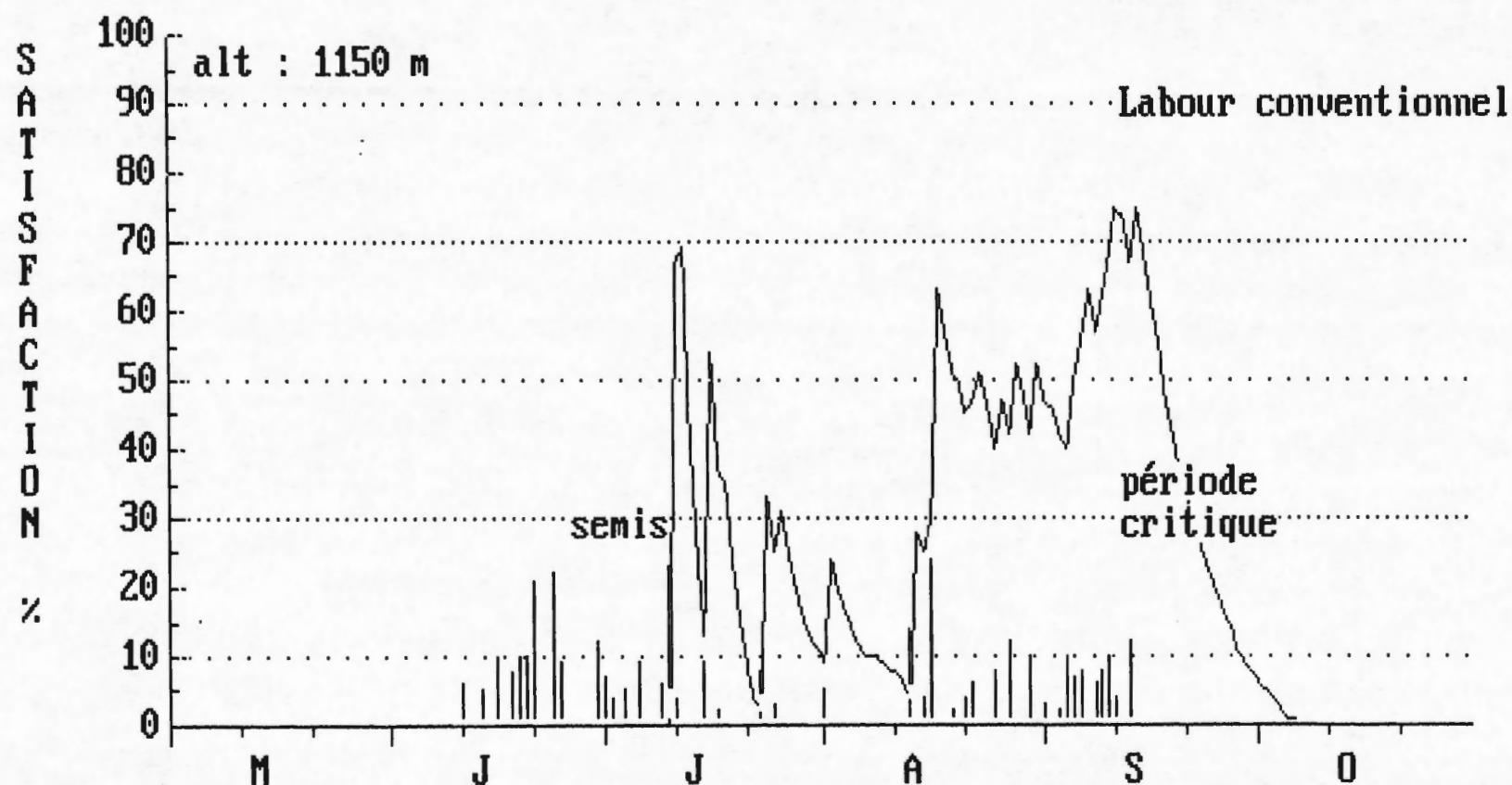
SIMULATION DU  
01/05/90 AU 05/10/90



PARCELLE : JONASRM  
SITE PLUVIO. : tinaja

CULTURE : mais  
SITE ETP: toliman

SIMULATION DU  
01/05/90 AU 05/10/90

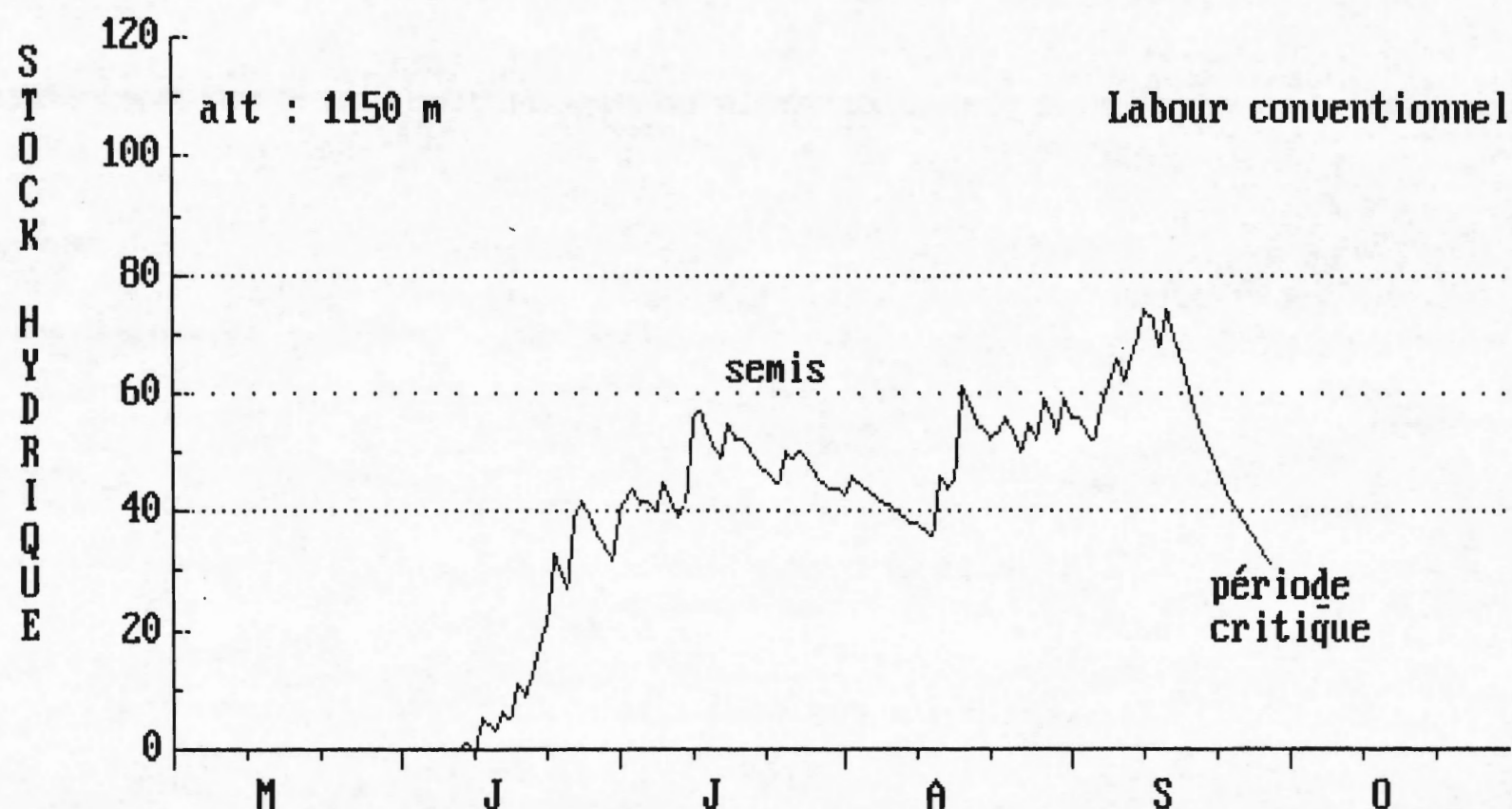




PARCELLE : JONASRM  
SITE PLUVIO. : tinaja

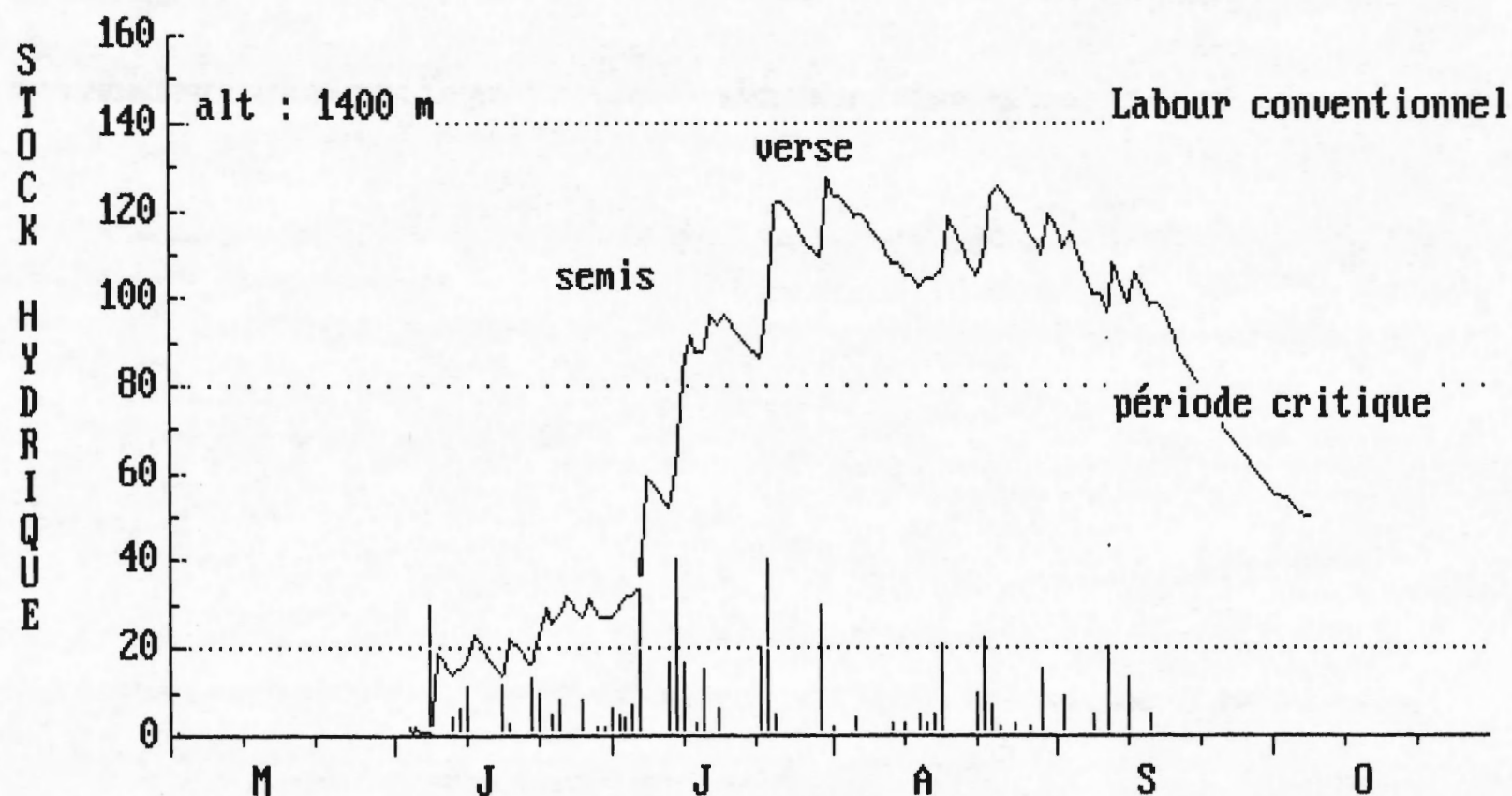
CULTURE : mais  
SITE ETP: toliman

SIMULATION DU  
01/05/90 AU 05/10/90



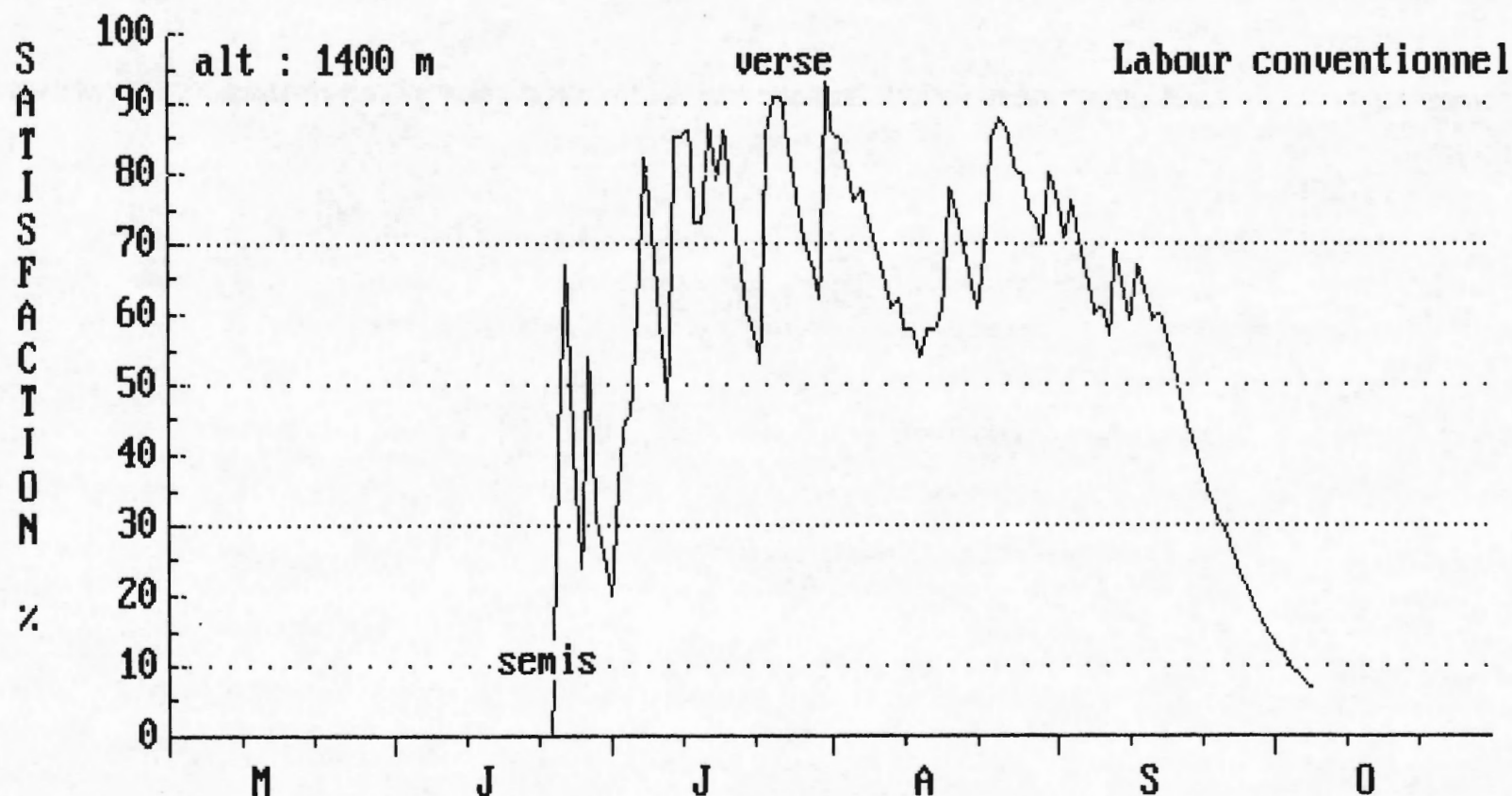
PARCELLE : RAFAELRM CULTURE : maïs  
SITE PLUVIO. : lupe SITE ETP: vcar

SIMULATION DU  
01/05/90 AU 05/10/90



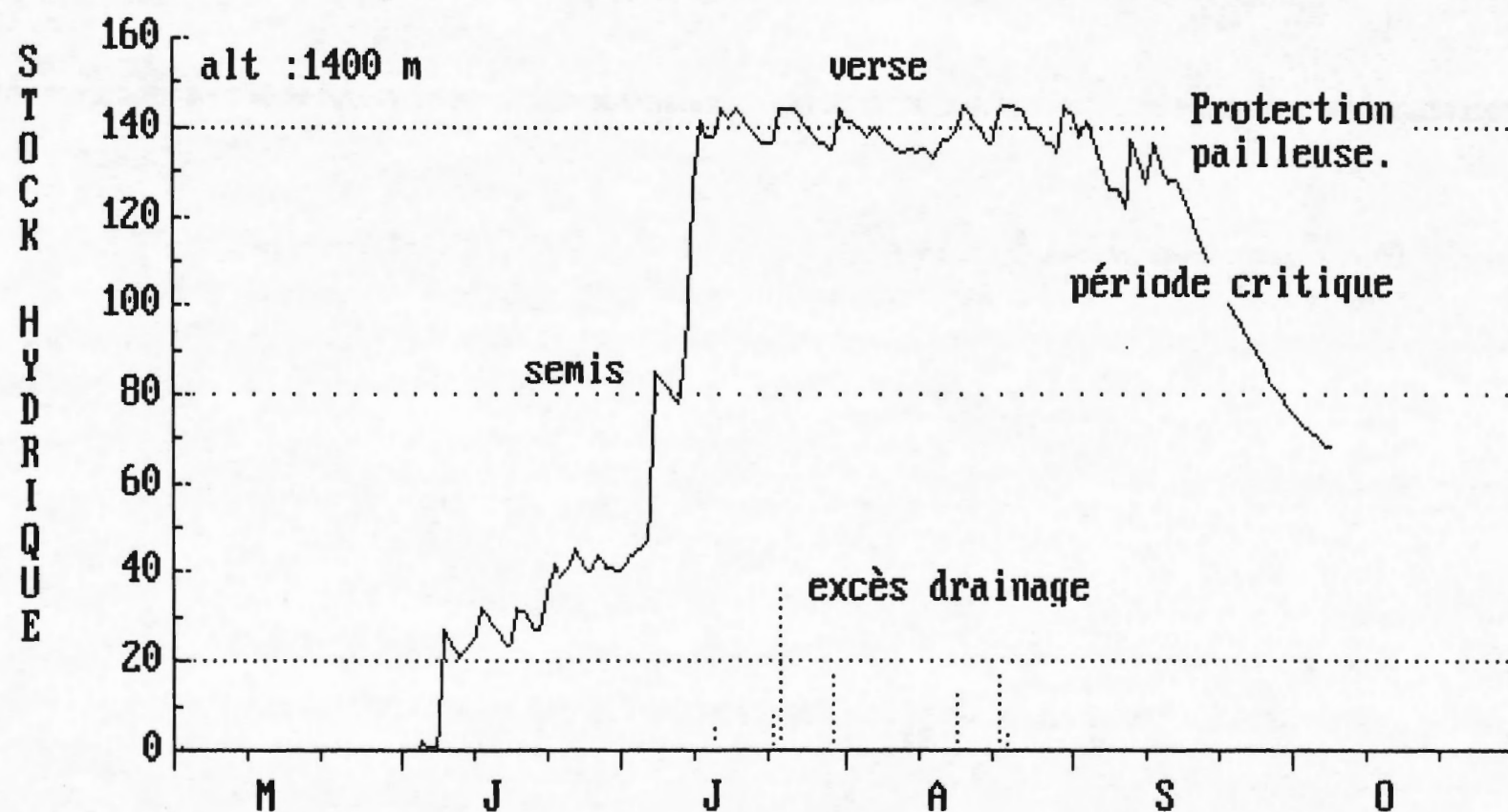
PARCELLE : RAFAELRM CULTURE : mais  
SITE PLUVIO. : lupe SITE ETP: vcar

SIMULATION DU  
01/05/90 AU 05/10/90



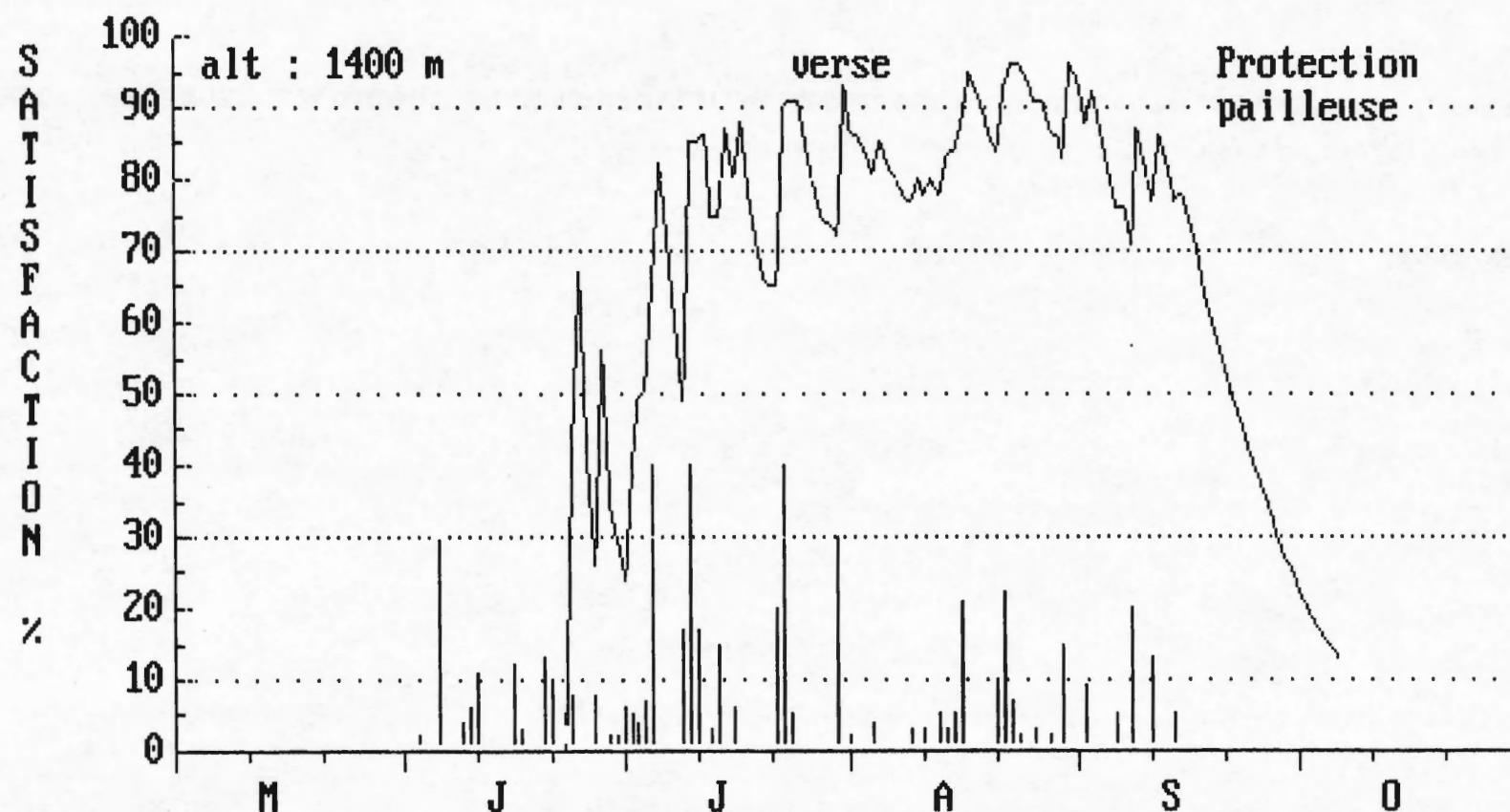
PARCELLE : RAFAELCM CULTURE : mapd  
SITE PLUVIO. : lupe SITE ETP: vcar

SIMULATION DU  
01/05/90 AU 05/10/90



PARCELLE : RAFAELCM CULTURE : mapd  
SITE PLUVIO. : lupe SITE ETP: vcar

SIMULATION DU  
01/05/90 AU 05/10/90





## ESTIMATION D'UN RENDEMENT ESPERE POUR UN SEUIL DE PROBABILITE DONNE.

### I/ Données disponibles : Les essais multilocaux maïs - coton

Les essais agronomiques ou enquêtes nous permettent de connaître pour une culture :

- sa date de semis
- la durée de son cycle
- les différentes phases physiologiques et leur durée (variété)
- le type de sol (propriétés physique et hydropédo.)
- l'enracinement de la culture
- l'apport pluviométrique pendant le cycle
- le rendement de la culture
- le climat local caractérisé par P/ETP .

### II/ Traitement des informations / Bilan hydrique .

A chaque résultat d'essai, les données disponibles permettent d'associer une simulation du bilan hydrique, (simulation par le modèle BIPODE), de la culture tenant compte de la pluviométrie journalière du site, du type de sol, des caractéristiques physiologiques propres à la dite culture.

A chaque rendement il est donc possible d'associer les termes résultant de la modélisation qui sont :

- niveau de satisfaction des besoins en eau au cours des différentes phases dont on déterminera la plus sensible par correlations multiples entre : les rendements observés et ETR/ETM de ces différentes phases

- évapotranspiration réelle de la culture
- drainage au cours des différentes phases .

L'analyse de la relation entre rendement / termes du bilan hydrique sur des séries de données maïs en station, montre que:

- il existe dans la plupart des cas une corrélation significative entre le rendement et l'indice de rendement qui est pour la plupart des céréales :

ETR/ETM phase critique x ETR cycle (Iresp);

- le rendement pourrait être exprimé en fonction de l'indice de rendement sous la forme d'une régression simple :

$$\text{Rend}_k \text{ (Kg/ha)} = b \times \text{Iresp}_k + a$$

Iresp<sub>k</sub> : indice calculé de l'année k

Rend<sub>k</sub> : rendement estimé de la culture pour l'année k.

Il est évident que la régression obtenue nous permet dans le meilleur des cas de n'expliquer que 80 % des variations de rendement, le reste étant dû aux autres contraintes agronomiques.

### III/ Estimation du rendement espéré pour un seuil de probabilité donné .

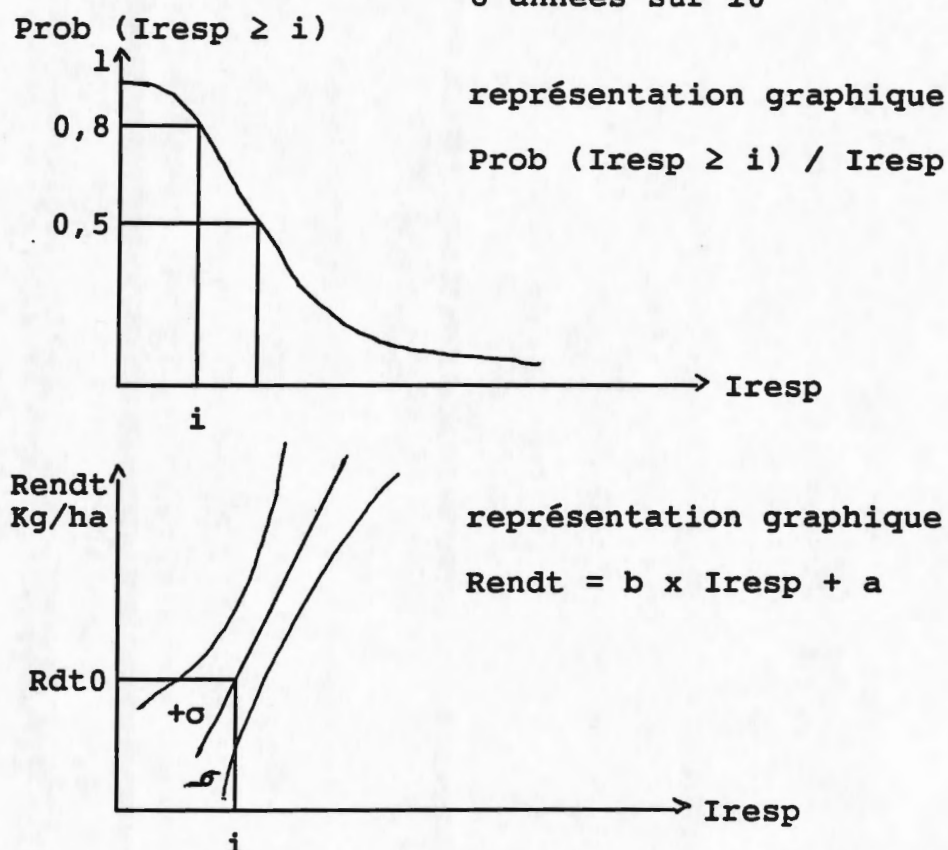
On recherche dans la plupart des cas le rendement qu'on aura 8 chances sur 10 de voir dépasser compte tenu des variations interannuelles de la pluviométrie .

$$\text{Prob} (\text{Rend}_t \geq \text{Rend}_0) = 0,8.$$

#### III-1 Estimation "rapide"

On détermine  $I_{\text{resp}} = i$  tel que  $\text{Prob} (I_{\text{resp}} \geq i) = 0,2$  et on remplace  $i$  par sa valeur dans la régression liant  $\text{Rend}_t$  et  $I_{\text{resp}}$  comme l'indique la figure 1 ci-dessous .

fig 1 : Détermination "rapide" du rendement dépassé  
8 années sur 10



En fait l'incertitude  $\epsilon$  au seuil 0,05 sur la détermination de  $\text{Rend}_0$  est le plus souvent très importante d'autant plus qu'on est loin de la valeur moyenne de  $I_{\text{resp}}$  (de l'échantillon de mesures à partir duquel a été établi la régression) .

Aussi toute tentative de zonage à partir d'une telle approche est difficile si on veut prendre en compte l'incertitude sur le rendement ainsi déterminé.

#### III-2 Estimation tenant compte de l'incertitude de détermination du rendement en fonction de $I_{\text{resp}}$ .

Le problème qu'on veut résoudre est d'estimer :

$$\text{Prob} (\text{Rdt} > \text{R}_0), \text{ quelque soit } I_{\text{resp}} .$$

### A/ Prédiction d'un rendement pour un Iresp donné

On sait que l'incertitude d'estimation sur le rendement pour un Iresp donné i, a une distribution normale

$$N(Rdt_i, \sigma_i); Rdt_i = b \times i + a$$

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{SCE_{regression}}{n-2}} \times \sqrt{\left(1 + \frac{1}{n} + \frac{n}{\sum_{k=1}^n (I_k - \bar{I})^2} (i - \bar{I})^2\right)}$$

$n$  : nombre de couples Rendt<sub>mesuré</sub>/Iresp<sub>évalué</sub>  
 $\bar{I}$  : valeur moyenne des  $n$  Iresp<sub>évalué</sub>  $1/n \times \sum_{k=1}^n Iresp_k$   
 $Iresp_k$  : valeur Iresp<sub>évalué</sub> couple k de l'échantillon  
 $Rend_t_k$  : valeur Rendt<sub>mesuré</sub> couple k de l'échantillon  
 $\bar{Rdt}$  : valeur moyenne des Rendt<sub>mesurés</sub>  $= 1/n \times \sum_{k=1}^n Rendt_k$

$$SCE_{reg.} = \sum_{k=1}^n (Rdt_k - \bar{Rdt})^2 - \frac{(\sum_{k=1}^n (Rdt_k - \bar{Rdt}) \times (I_k - \bar{I}))^2}{\sum_{k=1}^n (I_k - \bar{I})^2}$$

On peut déduire pour un Iresp donné la probabilité d'avoir un rendement supérieur ou égal à  $R_0$ .

$$Prob(Rdt \geq R_0) = \int_{R_0}^{+\infty} N(Rdt_i, \sigma_i) dRdt$$

### B/ Prédiction d'un rendement quelque soit Iresp

La simulation du bilan hydrique sur la série pluviométrique disponible (souvent supérieure à 20 ans) nous permet d'estimer de façon assez précise la loi de distribution de Iresp.

Comme spécifié en II, on a vérifié que la distribution de Iresp suivait une loi normale.

Soit  $p$  le nombre d'années pluviométriques disponibles et  $I'_i$  la valeur simulée de Iresp pour l'année  $i$ , la loi de distribution de  $I'$  sera :  $N(\bar{I}', \sigma'(iresp))$

avec  $\bar{I}' = 1/p \sum_{i=1}^p I'_i$

$$\sigma'(iresp) = \sqrt{\frac{1}{p-2} \sum_{i=1}^p (I'_i - \bar{I}')^2}$$

Le rendement obtenu quelque soit Iresp' sera donc

$$Prob(Rdt \geq R_0) = \int_{-\infty}^{+\infty} N(I', \sigma'(iresp)) \times \int_{-\infty}^{+\infty} N(Rdt_i, \sigma_i) dRdt \times di$$

Office d'Édition de la Recherche Scientifique  
et Coopération Internationale



Parc Méditerranéen N° 1 Zone Euro Méditerranéenne  
Montpellier 67.32.30.05